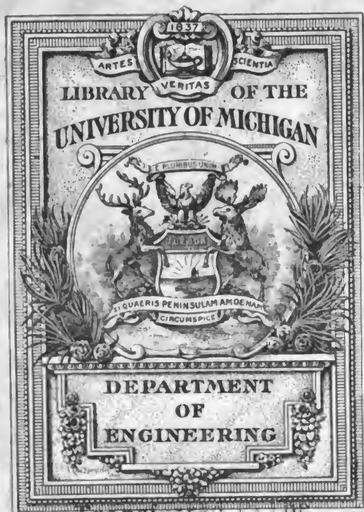
Procédés de forgeage dans l'industrie

Clément Codron

Digitized by Google



Transferred to the
GENERAL LIBRARY.



TS
460
.C67

Digitized by Google

Lej 9.6

Ouvrage couronné par la Société des Anciens Élèves
des Écoles nationales d'Arts et Métiers, dans sa séance du 17 février 1895,
présidée par M. Félix Faure, Président de la République
et extrait du *Bulletin technologique* (*1897*)

PROCÉDÉS
DE
FORGEAGE
DANS L'INDUSTRIE

PAR
C. CODRON
INGÉNIEUR CIVIL
Professeur du Cours des Arts mécaniques à l'Institut Industriel du Nord,
Officier d'Académie

DEUXIÈME PARTIE
(DEUXIÈME VOLUME)



PARIS
E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-EDITEURS
29, Quai des Grands-Augustins, 29

1899

Digitized by Google

Digitized by Google

PROCÉDÉS

DE

FORGEAGE DANS L'INDUSTRIE

Digitized by Google

Ouvrage couronné par la Société des Anciens Élèves
des Écoles nationales d'Arts et Métiers, dans sa séance du 17 février 1895,
présidée par M. Félix Faure, Président de la République,
et extrait du *Bulletin technologique* (1897-1898)

PROCÉDÉS
DE
FORGEAGE
DANS L'INDUSTRIE

PAR

C. CODRON

INGÉNIEUR CIVIL
PROFESSEUR DU COURS DES ARTS MÉCANIQUES A L'INSTITUT INDUSTRIEL DU NORD
OFFICIER D'ACADÉMIE

DEUXIÈME PARTIE (Deuxième volume)



PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE DES ARTS ET MANUFACTURES
E. BERNARD et Cie
53 *ter*, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

1898

Digitized by Google

Digitized by Google

PROCÉDÉS

DE

FORGEAGE DANS L'INDUSTRIE [1]

A travers les âges de l'industrie, l'outil de forgeage le plus simple, le plus puissant, le plus universel a été et est encore le marteau.

DEUXIÈME PARTIE

Tourillons, axes, arbres.

Les tourillons rapportés, les axes, les arbres ont des rôles cinématiques différents, mais leur construction à la forge est analogue et varie suivant leurs dimensions et leurs formes généralement simples *(fig. 1, pl. 1)*.

Le fer soudé de choix est encore couramment employé à la confection de ces organes pour les cas ordinaires; le fer fondu et l'acier doux sont adoptés pour ceux qui doivent présenter une grande résistance et une grande sécurité.

C'est ainsi que l'acier de variété doux ou mi-dur a remplacé le fer pour la plupart des tourillons, des axes, des essieux, des arbres de machines motrices, des machines-outils, etc.

Les tourillons rapportés étant le plus souvent des pièces de dimensions réduites, sont forgés à la barre par les procédés de martelage et d'étampage en dégageant les collets dans la masse.

(1) Mémoire extrait des *Bulletins technologiques* de la Société des Anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers.

230196

Digitized by Google

afin d'éviter tout défaut de soudure que pourrait présenter un collet formé d'une bague rapportée et soudée. Ces pièces ne se répètent guère sous mêmes dimensions, et ne donnent pas lieu à l'emploi d'engins mécaniques spéciaux.

Axes, essieux.

Les axes ordinaires analogues aux tourillons rapportés se façonnent de la même manière; les dimensions en longueur sont simplement plus fortes; mais, les axes désignés sous le nom d'essieux se répétant en grand nombre avec les mêmes dimensions, ont donné lieu à des procédés de fabrication particuliers.

On peut distinguer les essieux de voitures ordinaires, de véhicules pour voies de terre et ceux des wagons.

Les essieux simples sans collets sont pris à la barre, laminée ou forgée au pilon; les extrémités sont simplement étampées au plus près des dimensions pour éviter tout façonnage ultérieur important.

Si les fusées sont à talons, ceux-ci sont ménagés par refoulement ou par pièce de rapport soudée. Il en est de même si l'essieu est à collets et à patins. Le forgeage se fait au pilon en plusieurs chaudes avec ou sans emploi de matrices.

Dans les essieux soignés, tous les renflements, quels qu'ils soient, sont dégagés dans la masse; cette condition est de rigueur pour les essieux du matériel d'artillerie.

Le plus souvent, s'ils sont en fer provenant de paquets soudés au pilon, les essieux de véhicules se façonnent en deux parties, formant chacune un demi-essieu, que l'on réunit par une soudure dans le milieu du corps de l'essieu.

La soudure est à amorces et se fait en trois chaudes, une chaude suante, une chaude ressuée et une chaude de parage et de réglage. Les amorces sont prévues au moment de l'étirage afin de ne pas avoir à refouler le fer.

Les cahiers des charges du matériel d'artillerie stipulent

Digitized by Google

que : « toute fabrication comportant l'encollage des patins ou leur soudure à griffes, le refoulement en un point quelconque de l'essieu, l'emploi de lardons, est formellement interdite, et si l'une ou l'autre de ces opérations est constatée pendant l'exécution d'une commande, les pièces en fabrication et celles déjà fabriquées seront refusées.

Pour les essieux coudés, on a soin de ménager aux ébauches des bossages ou talons en A et B *(fig. 2)*, lors de l'étirage du corps de l'essieu, aux emplacements occupés par les coudes, de manière qu'on puisse obtenir ces angles bien formés sans avoir recours au refoulage ou à l'emploi de lardons.

Les coudes terminés pour chaque demi-essieu, on procède au carrossage des fusées, puis au dressage, filetage, et ensuite à leur réunion par soudure à amorces, en les chauffant dans des fours spéciaux ou au moyen de procédés électriques qui conviennent bien pour ces pièces qui se répètent.

Les essieux en fer proviennent de paquets parfaitement soudés au pilon. Le fer à nerf doit prédominer pour obtenir un essieu résistant. Les essieux en acier sont d'une seule pièce et proviennent de lingots martelés ou laminés dont les dimensions comportent deux ou plusieurs ébauches que l'on forge dans les mêmes conditions que celles pour les essieux en fer.

Après forgeage, il convient de soumettre les essieux au recuit, la température variant avec la dureté du métal employé ; ordinairement on atteint le rouge cerise et on laisse refroidir lentement à l'abri de l'air.

Pour les essieux en acier, une trempe douce leur donne plus de ténacité et d'élasticité.

La trempe est faite au rouge cerise naissant ou au rouge sombre dans un bain d'huile.

Ceux qui présentent une dureté trop grande sont recuits à la température du bois brûlant (500°). Les services de l'artillerie ont adopté dernièrement l'acier nickel pour plusieurs de leurs commandes, en vue d'assurer plus de solidité, de sécurité.

Digitized by Google

Les demi-essieux à patins ou autres ordinaires ont donné lieu à la construction d'un laminoir spécial pour les achever, c'est-à-dire pour cylindrer la partie A *(fig. 3)* qui doit devenir la fusée, pour donner la forme octogonale B et la forme cylindrique C, dans la partie du milieu qui doit ultérieurement être soudée à un autre demi-essieu semblable pour former l'essieu complet.

Le laminoir *(fig. 4* et *5)* (1) opère d'une façon automatique. Il est muni d'un chariot porteur à coulisse présentant l'essieu dans une position parfaitement régulière à l'action des cylindres, et le retournant automatiquement pour façonner les diverses faces ou obtenir la forme voulue exactement.

Les cylindres A et B travaillent seulement sur une portion de leur pourtour qui présente les diverses cannelures correspondant aux dimensions des essieux. La partie non travaillante est surbaissée de $0^m,01$ environ au-dessous du fond de la cannelure la plus profonde. Contrairement aux laminoirs ordinaires, le travail se fait en introduisant la pièce du côté où elle doit sortir, c'est-à-dire en ramenant le fer en avant.

Le chariot C a pour but de remplacer complètement l'action manuelle en assurant une bonne fabrication. Il se compose d'un support C glissant sur des guides cylindriques creux G, parallèles entre eux, perpendiculaires aux cylindres et portés par le bâti établi sur le devant du laminoir.

L'essieu E, chauffé au rouge, est placé sur son support, le patin en avant; il est convenablement assujetti; mais, les pièces qui le maintiennent peuvent tourner avec lui autour de son axe par la commande d'un encliquetage.

Un contrepoids P attaché par une corde au chariot sollicite celui-ci pour le déplacer et le ramener en avant, lorsque le laminoir l'a repoussé en arrière. A chaque mouvement de va-et-vient, l'essieu tourne d'un quart de tour et présente toutes

(1) Brevet Meunier du 25 mai 1875.

Digitized by Google

ses faces aux cannelures. Après quatre passages, l'essieu est enlevé. Le lamineur conduit plusieurs chariots en même temps. La *figure 4* montre la disposition pour laminer le corps de l'essieu; pour le laminage de la fusée, la pièce est retournée, et la cannelure est de forme appropriée. A chaque cannelure peut correspondre un chariot en le disposant sur les supports correspondants.

On peut aussi ébaucher les essieux au laminoir et les achever en matrices (1). La *figure 6* montre une ébauche C après son passage entre les cylindres B du laminoir *(fig. 7)*, dont les gorges sont de largeur uniforme, pour obtenir des côtés parallèles. Mais les rainures sont de profondeurs variables, d'où il résulte que l'ébauche C est d'épaisseur variable; le métal se trouve distribué dans le sens de la longueur, sensiblement sur une surface qui correspond de point en point à l'essieu fini. On ménage sur les cylindres plusieurs cannelures pour des essieux de différentes longueurs, dimensions et formes.

L'ébauche est ensuite placée entre les matrices D *(fig. 8)*, et cela sur champ, c'est-à-dire que les faces parallèles sont placées contre le fond et contre le dessous de la matrice. La matrice est assez longue pour recevoir le corps de l'ébauche et ne laisser dépasser que les bouts bruts comprenant le métal en excès. Le matriçage se fait avec un pilon de 4 à 5t ou à la presse; on a soin de ne façonner que partiellement les collets d'about, comme le montre la *figure 8*.

Ou bien la pièce est matricée sans collet *(fig. 9)*. On soude les blocs terminaux et l'on place ensuite la pièce dans les blocs de retenue G ou matrices correspondant à la forme de l'essieu, mais ayant aux extrémités une cavité annulaire dont le diamètre correspond au collet extérieur K à former sur l'essieu *(fig. 10)*. Un mandrin mâle I, destiné à refouler les bouts de l'essieu pour former les collets, est ajouté de façon à se loger exac-

(1) Brevet du 6 septembre 1887, à M. Wellman.

Digitized by Google

tement dans les cavités cylindriques terminales des blocs, et ce plongeur I porte au centre de sa face un poinçon à extrémité conique J, destiné à imprimer les centres de tournage. Les mandrins I sont actionnés simultanément chacun par une presse, de préférence à un marteau.

On peut former les collets d'about dans les matrices D *(fig. 11)*; mais, à moins de laisser de longs bouts, les collets présentent des défauts.

On préconise l'emploi d'une pièce matricée de la forme *figure 12*, dont les abouts mis à longueur sont ensuite refoulés dans les étampes G pour former les collets.

Le chauffage électrique de ces collets en même temps que s'opère le refoulage peut s'appliquer avantageusement.

Essieux de wagons.

Les essieux pour wagonnets se font ordinairement en fer soudé ou en fer fondu ; ceux pour wagons des voies principales sont en acier Bessemer ou autre, pourvu qu'il soit de bonne qualité et que les lingots, ayant subi un martelage énergique, ne présentent aucun défaut.

Ils sont ordinairement garantis pour quatre années de service.

Les essieux droits en acier fondu ont été répandus d'abord en Allemagne vers la même époque que les bandages (avant 1855).

Peu de Compagnies de chemins de fer continuent à employer exclusivement les essieux en fer soudé, provenant de paquets à mises de choix fortement corroyées ou étirés au pilon ou au laminoir.

Le fer fondu forgé ne présentant pas une résistance suffisante, on préfère généralement employer l'acier donnant un allongement de 20 à 25 0/0, barrettes de 200^{mm}, une ténacité de rupture de 55 à 45^{kg} par millimètre carré, soit un chiffre de qualité variant de 75 à 70 (1). Ce métal est suffisamment car-

(1) Un acier comprenant C : 0,259, Ph : 0,016, Se : 0,110, Mg : 0,951, peut donner $R = 47^{kg}$, $A = 25$ 0/0 et une striction de 50 0/0.

Digitized by Google

buré pour que le recuit et la trempe puissent exercer une action suffisante en vue de l'amélioration de la qualité (1), et une certaine dureté aux fusées pour résister à l'usure et prévenir les grippements qui se produisent avec un métal un peu moins dur. Lorsque les fusées ne sont pas trempées, afin de les durcir quelque peu, on promène sur leur surface, après tournage définitif, une roulette appliquée fortement. L'action serait plus profonde et plus efficace en employant une machine spéciale permettant d'exercer une plus forte pression que celle que produit le tourneur opérant à la main.

Lorsque l'essieu est en fer, les fusées sont souvent cémentées, puis trempées.

Les fusées des essieux en fer sont aussi écrouies par un martelage exécuté à froid et à petits coups après le dégrossissage et avant de remettre les essieux sur le tour pour les finir par une dernière passe. Cet écrouissage leur donne une plus grande résistance à l'usure. Le martelage se fait au marteau à main, ou mieux au marteau mécanique, plus rapide et plus économique, dont les *figures 13* à *17* montrent une disposition (2).

L'essieu est monté sur des supports mobiles longitudinalement; l'un d'eux tourne automatiquement de manière à présenter successivement toutes les parties de la surface de la fusée à l'action du petit marteau M, qui bat 64 coups par tour de l'essieu; celui-ci avance, sous l'action d'une vis, de 6^{mm} par tour; de sorte qu'une fusée de 170^{mm} de longueur fait 28 tours et reçoit 1.800 coups sur toute la surface, ce qui produit un effet suffisant.

L'essieu droit de wagon en fer soudé est une pièce de forge

(1) Des essieux qui ne peuvent satisfaire aux conditions des cahiers des charges avant d'avoir subi la trempe et le recuit, accusent après ces opérations une ténacité de rupture et un allongement supérieurs à ceux demandés.

A l'inverse, si l'acier est trop dur, un recuit prolongé fait disparaître l'écrouissage dû au travail, le métal s'adoucit et peut donner aux essais de traction l'allongement imposé.

(2) Brevet du 27 février 1874 à la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry.

Digitized by Google

simple à sections circulaires dont l'ébauche soudée au pilon et corroyée au laminoir, est étampée au pilon.

L'essieu est ordinairement fait en cinq chaudes. La première pendant laquelle la longueur est dégrossie; la seconde ébauche la moitié de l'essieu: la troisième finit cette moitié; la quatrième ébauche l'autre moitié; la cinquième la termine.

Le déchet du métal est en moyenne de 20 0/0. Les paquets ont une section variant de 0m,200 à 0m,300 de côté. Après soudage au marteau, le paquet est laminé en barre brute ronde de 120 à 180mm de diamètre. L'excès de métal laissé à chaque bout des fusées est affranchi à la scie, et c'est dans ces parties que l'on prend les barrettes d'essais à la traction.

S'il s'agit de petits essieux pour wagonnets, le paquet correspond à plusieurs longueurs ébauchées au laminoir, puis tronçonnées à la scie. Chaque extrémité, réchauffée à tour de rôle, est ensuite étampée, achevée à un pilon de 2t en une chaude, en dégageant suffisamment les fusées et les portées de calage des roues; le corps reste cylindrique brut de laminage, ou on se réserve un étampage modéré pour la mise à longueur au plus près.

Essieux en acier.

Les lingots pour essieux de wagons sont octogonaux ou à section carrée de 0m,250 à 0m,400 de côté; la hauteur est égale à trois ou quatre fois le diamètre inscrit, ce qui permet l'obtention de un, deux ou trois essieux dans le même lingot et, dans ce dernier cas, on réduit l'importance relative des chutes qui sont ordinairement de 20 0/0 du côté de la tête et de 4 à 5 0/0 du côté du pied. Les essieux achevés de forge pèsent de 200 à 300kg suivant le modèle. Les lingots, après vérification et enlèvement des pailles ou criques de faible importance, sont réchauffés dans des fours appropriés, en nombre variable suivant les moyens dont on dispose, pour être successivement étirés avec un pilon de 8 à 15t selon leur grosseur et suivant l'accélération qu'il faut donner à l'ébauchage. Dans cette pre-

Digitized by Google

mière chaude, le lingot est étiré au carré *(fig. 18[a])*, puis il passe à un pilon de moindre importance pour lui donner la forme générale ébauchée sous section octogonale.

Quelques usines laminent les lingots au blooming sous section finale carrée à angles abattus fortement. On tronçonne à la tranche ou à la scie les chutes et ébauches de chaque essieu.

Le rapport de la section primitive à la section moyenne ébauchée varie ainsi entre 1/5 et 1/10. Pour le finissage ou étampage du corps de chaque essieu les marteaux sont de 4 à 6^t et il suffit de deux chaudes, si le corps est cylindrique et si les fusées ne sont pas complètement dégagées. Dans le cas contraire, on opère en trois chaudes : la première est relative à l'étampage du corps, le plus souvent de forme conique *(fig. 18[b])* obtenue au moyen de deux étampes, dont l'une, cylindrique, ébauche et dont l'autre, à double conicité, achève. La deuxième chaude se rapporte à l'une des fusées et la troisième à l'autre fusée *(fig. 18[c])*. L'étampage de ces parties peut se faire aisément sous un pilon de 3^t. Ordinairement, sur les parties tournées, les diamètres bruts sont de 5 à 6^{mm} plus grands que ceux de l'essieu fini. Le corps reste brut.

Si possible on ne laisse pas refroidir la pièce et on la porte immédiatement dans un four continu à recuire où elle reste pendant six à huit heures sous l'action d'une température progressive qui correspond à celle du rouge cerise clair comme maximum. Si le four n'est pas continu, le refroidissement se fait dans le four même dont on laisse la température s'abaisser pendant vingt-quatre heures, ou, mieux, les essieux sont transportés dans des chambres de refroidissement à l'abri de l'air, soit dans un milieu où la température se maintient aussi élevée que possible pendant une durée assez longue. Après refroidissement complet, chaque essieu est visité, placé sur une table en fonte pour vérifier s'il n'y a pas lieu de le redresser, ce qui se fait ordinairement à froid, de préférence à la presse plutôt qu'au marteau.

Digitized by Google

Ces essieux comportent une fabrication très importante. Certaines forges façonnent par jour jusqu'à 30 à 40 essieux ébauchés à un même pilon.

Essieux creux.

L'un des premiers procédés employés pour la fabrication des essieux de wagons creux comporte :

1° La coulée d'un lingot d'acier *(fig. 19)* avec noyau réfractaire ;

2° Le laminage du lingot sous section *(fig. 20)*, puis son renflement et sa régularisation *(fig. 21)*;

3° La préparation de deux bouts pleins *(fig. 22)* formant bouchons, que l'on introduit dans les deux bouts du tube et que l'on soude en étampes pour constituer les fusées de l'essieu *(fig. 23)*.

Les *figures 24* et *25* se rapportent à l'essieu achevé ; le diamètre extérieur va en décroissant depuis les portées des roues jusqu'au milieu; de plus, l'épaisseur du métal diminue aussi depuis ces portées jusqu'au milieu.

Pour produire cette forme, on chauffe l'essieu à l'exception des fusées; on le place dans la machine *(fig. 26)*.

Les mâchoires M, exerçant un effort de traction en même temps que deux paires de galets G sont promenées sur l'essieu alternativement en se rapprochant ou s'éloignant de l'axe pour déterminer une pression, le corps de l'essieu s'étire comme une éprouvette de traction que l'on régularise pendant qu'elle tourne. C'est l'une des rares applications du procédé de traction directe combiné avec des pressions latérales. Ce procédé ne s'est pas répandu ; il est difficile de donner une chauffe bien régulière et surtout symétrique par rapport au milieu.

Les essieux creux ont été préconisés depuis une vingtaine d'années, mais n'ont pas été adoptés, d'une façon courante, à cause de leur fabrication plus difficile, et aussi parce qu'ils présentent moins de sécurité que les essieux pleins. Cependant diverses forges en Angleterre réalisent cette fabrication dans

Digitized by Google

de bonnes conditions pour les essieux des wagons, des voitures des tramways et ceux du matériel d'artillerie.

Un autre procédé de façonnage consiste à prendre un manchon de fer ou d'acier fondu que l'on étire au laminoir, puis l'ébauche cylindrique annulaire est achevée en matrices pour y former les fusées et collets.

Par exemple, un tube de $1^m,20$ de longueur *(fig. 27)* est allongé à $2^m,30$, puis étampé pour dégager les tourillons et ménager les portées de calage *(fig. 28)* (1).

Parfois les abouts sont fermés par restreignage et soudage en donnant la forme semi-sphérique.

Le laminage a aussi été appliqué pour les essieux pleins.

Le lingot est d'abord étiré à la presse ou à un blooming qui lui donne la section carrée. De là, il passe à un finisseur pour prendre la section circulaire et une longueur qui correspond à plusieurs essieux.

La barre est tronçonnée à la scie; les éléments sont rechauffés à chaque bout pour l'étampage des fusées, le corps reste cylindrique.

Le roulage entre plateaux-matrices *(fig. 29 à 33)* d'une ébauche fortement corroyée peut avantageusement être appliqué au finissage des essieux de wagons, des axes de petite et moyenne dimensions, tels que les broches de filatures qui se répètent en grand nombre et que l'on peut obtenir sans nécessiter de retouche autre que celle pour le polissage et l'achèvement des abouts. Plus loin, nous indiquons le laminoir de MM. Mac Bride et Fisher qui s'applique aux arbres et aux essieux.

Boîtes à graisse des essieux.

Les supports d'axes ne se fabriquent qu'exceptionnellement en métal forgé, soit lorsqu'on recherche, comme pour les

(1) Procédé Martin. Brevet du 30 avril 1872.

Digitized by Google

essieux de wagons, la légèreté tout en assurant la solidité et par suite la sécurité.

Depuis quelques années, M. Fox a confectionné des boîtes à graisse en acier matricé ou embouti. Il a combiné les matrices et les mandrins *(fig. 35 à 46)* (1).

La fabrication comporte : 1° La préparation d'une ébauche tubulaire à section rectangulaire *(fig. 34)*, dont les dimensions correspondent à peu près à celles de la boîte à graisse à obtenir;

2° Le matriçage dans des matrices en plusieurs parties démontables dont l'une, espèce de mandrin, correspond en forme et en dimensions à l'intérieur de la boîte terminée.

Le mandrin démontable *(fig. 35 à 37 et 38 à 43)* comprend un certain nombre de segments montés sur une broche centrale conique. Ces segments sont faits en deux morceaux avec des joints biseautés qui permettent la contraction par refroidissement de la pièce.

Les matrices externes *(fig. 44 à 46)* comportent des plaques disposées pour former les côtés, le dessus et le fond de la boîte à graisse, lorsque le tube est comprimé entre elles.

L'ébauche, chauffée au rouge vif, est montée sur le mandrin M; les pièces sont ainsi introduites dans les matrices, puis la pression hydraulique s'exerce sur le chapeau C dont les côtés extérieurs latéraux en forme de coins agissent contre les deux blocs matriceurs AA' qui se rapprochent et donnent les formes latérales en combinaison avec le mandrin.

Lorsque les blocs AA' ont terminé leur déplacement vers l'axe et achevé la formation des côtés de la boîte, ils continuent de descendre et les deux saillies en acier BB' viennent agir dans les côtés du tube partiellement comprimé; ces saillies équarrissent transversalement les rainures dites des plaques de frottement d'essieu.

Ces rainures terminées, les matrices supérieure et inférieure

(1) Brevet du 31 décembre 1892.

Digitized by Google

C' et D entrent à leur tour en action pour achever la pièce.

Ces matrices agissent simultanément sur le dessus et sur le fond du tube, pendant que les matrices latérales le maintiennent.

L'opération terminée, la pièce C est soulevée et entraîne les matrices latérales, les blocs, la boîte et le mandrin. A un moment donné, les parties latérales s'écartent pour reprendre leurs positions ouvertes *(fig. 44)*, rendre libres le mandrin et la pièce, de manière à pouvoir les retirer et les démonter. La boîte, ainsi formée, est prête à recevoir les pièces additionnelles qui la complètent, après que les extrémités ont été tournées, si cela est utile.

Cette fabrication a été adoptée par quelques forges anglaises d'une façon courante.

Arbres.

Les arbres, au point de vue de leur fabrication, peuvent se classer en deux catégories : ceux sans collets ; ceux avec collets.

Les premiers sont ordinairement cylindriques sur toute leur longueur ; les autres présentent des variations de section.

Les arbres cylindriques sont ordinairement pleins et sont pris dans des barres du commerce que l'on régularise au tour ou au mandrin d'étirage sur le banc à tirer. Ce dernier procédé convient tout particulièrement pour les arbres dits de couche, creux, provenant de tuyaux étirés à chaud et que l'on achève par plusieurs passages à froid à travers des filières mandrins, ce qui dispense de tout tournage réduisant fortement l'épaisseur et aussi du polissage ordinaire. On préconise avec raison l'emploi de tuyaux à ailerons hélicoïdaux intérieurs qui assurent la raideur, augmentent la résistance de flexion et de torsion.

Les arbres à collets et à sections variables se forgent au pilon ou à la presse en étampes en ménageant autant que possible les collets dans la masse et en partant de paquets ou

Digitized by Google

de lingots assez gros pour assurer un corroyage énergique, surtout s'il s'agit d'arbres premiers moteurs (1).

Arbres étirés à la filière.

En vue de supprimer le tournage des arbres cylindriques, ils sont régularisés à la filière par plusieurs passages successifs dont la réduction totale varie avec le diamètre de l'arbre; elle est d'environ 1 à 2^{mm} pour un diamètre de 25 à 30^{mm}; pour les gros diamètres jusqu'à 120^{mm} et plus, elle n'atteint pas 3^{mm}.

Ce procédé a été appliqué aux États-Unis par Billings (2). La *figure 1*, *planche 2*, représente le banc à tirer les arbres. On y retrouve une filière calibre et son porte-filière, des supports ou des rouleaux destinés à maintenir la pièce dans la direction de l'axe de la filière.

L'arbre A est saisi par une griffe à mâchoires en coin B solidaire de la tête d'une tige de piston C actionné par l'eau, la vapeur ou l'air comprimé. La course du piston a une longueur un peu plus grande que la longueur à étirer.

La filière F en acier dur est à entrée conique raccordée.

Pour obtenir un centrage exact, la lunette a un rebord D pivotant autour des pointes des vis à centrer E solidaires de la pièce G; cette dernière pièce pivote elle-même autour des pointes des vis à centrer H fixées au bâti et rectangulairement situées avec les vis E *(fig. 2* et *3)*.

Le bâti I a des supports en acier J à arêtes vives, sur lesquelles la pièce G s'appuie tout en conservant sa mobilité. Le porte-filière D est également muni de supports en acier L

(1) Autrefois les arbres des machines à vapeur étaient constitués par des barres carrées que l'on soudait en paquet par superposition successive au martinet ou au marteau à devant. Les soudures étaient défectueuses; on conservait la section carrée au corps de l'arbre.

(2) Geo. H. Billings, superintendant de la Norway Steel and Iron Co., South-Boston (Mass.). — *Revue universelle des Mines*, tome XVIII, 1885). (Note de M. J.-G. Freson sur l'étirage à froid.)

Digitized by Google

à arêtes vives appliquées contre le front de la pièce G et permettant la rotation de D par rapport à G.

La mise en place de la lunette D a lieu en serrant et desserrant les quatre vis K qui agissent sur son rebord extérieur en quatre points situés à des distances angulaires de 90°; elles font tourner la pièce D sur les points L par rapport à son support G et celui-ci sur les points J par rapport au bâti I. Ces vis permettent de bien fixer la filière D suivant l'axe de la tige du piston de traction, de sorte qu'une barre A plus ou moins courbée puisse être redressée par l'opération. Ce dressage n'aurait pas lieu si la filière était libre de ses mouvements, si par exemple, elle était montée à rotule.

Les arêtes L et J doivent être sur les prolongements des axes des vis E et H.

La disposition précédente a été simplifiée *(fig. 5 et 6)* : la lunette D, dont la surface extérieure a été taillée en biseau, s'appuie contre les rouleaux N tenus dans une pièce O fixée au bâti I. Les vis K servent à ajuster la position de la lunette comme ci-dessus; si elle est mal dirigée, on obtient des barres courbes.

L'arbre est graissé convenablement pendant l'étirage, il sort de la filière avec une surface unie qu'il suffit de polir au tour, à l'émeri et à l'huile, pour faire disparaître les petites stries longitudinales, ou soit encore en enlevant avec un outil coupant une faible couche de métal.

Les arbres creux sont régularisés de même que les pleins.

L'opération se fait en plusieurs passages dans des filières dont les différences de diamètres varient de quelques dixièmes de millimètre. Une filière résiste au passage de 120 à 150^{m} d'arbres. Il convient d'adopter pour ces arbres du fer fondu ou de l'acier très doux Siemens Martin dont la ténacité et la limite d'élasticité s'élèvent dans une proportion plus ou moins grande par le travail de compression et d'étirage (1). Ces arbres dits en acier comprimé

(1) Dans des essais de traction que nous avons faits pour comparer un acier doux ordinaire avec un acier comprimé étiré à froid pour arbres,

Digitized by Google

seraient de préférence adoptés, si leur prix de vente (50 francs les 100^{kg}) était quelque peu réduit. Ce prix n'est pas en rapport avec la réduction de poids qu'il est possible de leur faire subir quand il s'agit d'arbres de transmission dont l'écartement des paliers oblige à tenir les diamètres plus forts en vue d'éviter la flexion.

Banc à tirer hydraulique de Robertson (1).

Robertson a appliqué à l'étirage des arbres pleins ou creux, un banc à tirer hydraulique dont le principe consiste à placer la pièce dans un cylindre et à le pousser à travers le mandrin-filière par action directe du liquide sous pression. Ce liquide peut être de l'huile pour lubrifier la pièce et faciliter l'opération.

Les *figures* 6^a et 6^b se rapportent à une disposition comprenant : un cylindre en fonte C, dont le diamètre est un peu plus grand que celui de l'arbre; une filière F, ajustée sur la tête du cylindre par l'intermédiaire d'une rondelle de cuir pour assurer l'étanchéité du joint. Cette filière est maintenue par la bride B fixée au moyen de boulons.

Le fond du cylindre présente une ouverture pour le passage de la pièce. Un bouchon D ferme cet orifice.

Une tubulure H munie d'un robinet met en communication

---

nous avons obtenu avec des éprouvettes de 200^{mm} de longueur et de 15^{mm} de diamètre :

	TÉNACITÉ VERS LA LIMITE D'ÉLASTICITÉ	TÉNACITÉ MAXIMUM	ALLONGEMENT POUR CENT	ÉNERGIE DE RUPTURE PAR ^{mm2}
Acier doux ordinaire . .	$Re = 20^{kg}$	$R = 38^{kg}$	$A = 26$	$T = 1{,}62^{kgm}$
Acier comprimé.	50^{kg}	. . .65^{kg}	. . .10	. . $1{,}08^{kgm}$

Dans des essais de torsion, éprouvettes de 200^{mm} de longueur et de 12^{mm} de diamètre, nous avons constaté :

	MOMENT LIMITE D'ÉLASTICITÉ	MOMENT MAXIMUM	TORSION TOTALE DE RUPTURE	ÉNERGIE DE RUPTURE
Fer laminé	8^{kgm}	$15^{kgm},3$	3 tours $\frac{62}{64}$	285^{kgm}
Acier comprimé. . . .	18^{kgm}	$22^{kgm},5$	3 tours $\frac{57}{64}$	520^{kgm}

(1) Brevet du 6 décembre 1893.

Digitized by Google

le cylindre avec un réservoir de liquide à basse pression, pour faire le plein avant de faire agir le liquide propulseur, qui doit de préférence être employé au sortir des pompes à une pression d'environ 2.500^{kg} par centimètre carré ; ce liquide est introduit par la tubulure I. Le cylindre est monté dans des brides E disposées de manière à pouvoir facilement rechanger le cylindre suivant les dimensions des pièces.

Une auge F reçoit le liquide après l'opération, lequel s'écoule par la tubulure G pour être repris à volonté.

A titre d'exemple, considérons un arbre de 52^{mm} de diamètre réduit à 50^{mm} en un seul passage. La section de poussée serait de 19^{cm2},63 et l'effort longitudinal serait : $19{,}63 \times 2500 = 49.000^{kg}$, ce qui peut suffire. Toutefois, il est prévu une traction additionnelle pour venir en aide s'il y a lieu. A cet effet, l'extrémité de l'arbre qui déborde est filetée et se visse dans une tige T saisie entre deux galets V disposés sous un angle tel qu'ils produisent un mouvement hélicoïdal de la pièce ; le déplacement longitudinal le plus convenable pour un tour de l'arbre est de 25^{mm}. On réduit ainsi la composante longitudinale du frottement sur la filière, et, de plus, les galets tirent eux-mêmes avec force sur la tige T.

La vitesse d'étirage est d'environ 100^{mm} par seconde.

Pour redresser l'arbre à la sortie, un disque K est placé obliquement suivant la même inclinaison que les deux galets entraîneurs ; ce disque s'appuie contre l'arbre et le guide tout en le dressant par flexion s'il y a lieu.

Les arbres sortent de la matrice avec un poli très suffisant pour leur emploi.

M. Robertson adopte encore un piston court qui sert de pousseur en s'appuyant sur le bout postérieur de la pièce. Il suffit alors d'une pression beaucoup moins élevée pour le liquide.

L'emploi de pressions atteignant ou dépassant 2.500^{kg} par centimètre carré doit donner lieu à des inconvénients multiples

Digitized by Google

qui, cependant, n'embarrassent par M. Robertson, accoutumé à vaincre en métallurgie des difficultés de tout ordre.

Dressage des arbres.

Lorsque la pièce exige un dressage complémentaire, elle passe entre trois cylindres horizontaux A, B, C (*fig. 7* et *8*), à cannelures; deux des cylindres B, C tournent dans le même sens et sont reliés par trois pignons. La machine à dresser est mue par courroies et la rotation a lieu successivement dans les deux sens; la transmission de commande comprend trois poulies, dont deux folles et une calée qui reçoit l'action alternative d'une courroie droite et d'une courroie croisée. La pièce passe à plusieurs reprises entre les cylindres dont la position relative est réglée au plus près.

Si le dressage doit être rigoureusement rectiligne, la pièce passe finalement à la machine (*fig. 9* et *10*). Elle est placée sur les deux séries de galets G à surface lisse qui lui donnent par friction un mouvement de rotation. Une série d'appuis P portés par un chariot mobile C peuvent être haussés ou abaissés par des coins D agissant sur leur face inférieure. Un bloc B donne à la barre une pression réglée par la vis V.

L'opérateur promène d'abord le chariot C le long de la barre qui tourne sur elle-même par l'action des roues G; en ce moment le bloc B se trouve relevé et les appuis P descendus. Il tien tsur un de ces appuis un morceau de craie, assez près de la barre, pour que la trace s'en marque sur les parties offrant une déviation, quelque légère qu'elle soit. Quand il découvre de cette manière une courbure, il fixe le chariot et arrête le mouvement de rotation de l'arbre. Après avoir placé le point blanchi sous le bloc B, il choisit deux des appuis P d'après la longueur de l'inflexion et les applique contre la barre; ensuite il serre la vis V jusqu'à ce qu'il vienne à bout de la déformation. Une machine à dresser, mieux conditionnée, consiste en trois cylindres entre lesquels est introduit l'arbre

Digitized by Google

parallèlement aux axes, de manière qu'il est roulé entre les cylindres en possédant un mouvement hélicoïdal se décomposant en un mouvement d'avancement très lent et un mouvement de rotation dont la vitesse varie de 400 à 500 tours. Le cylindre supérieur est libre; les deux autres sont commandés et leurs axes sont légèrement inclinés sur l'horizontale, mais en sens inverse.

Une autre machine à dresser les arbres avant tournage, employée aux États-Unis, est celle *(fig. 11)* de M. Médart. L'arbre A est maintenu par une griffe G à plateau monté sur un arbre rotatif B actionné par des roues d'engrenages et un cône-poulie à courroie de commande.

Sur un chariot C sont montés quatre galets inférieurs et deux galets supérieurs coniques, entre lesquels l'arbre est serré énergiquement par le déplacement des galets supérieurs dont les supports sont solidaires d'une traverse D pouvant se déplacer à volonté, verticalement, par la manœuvre d'une vis V prenant écrou dans une deuxième traverse E supérieure montée sur les colonnes du chariot. Ce dernier est pourvu de quatre petites roues à gorge et roule sur deux tiges cylindriques F parallèles à l'axe de rotation de l'arbre. Les galets inférieurs sont deux à deux montés fous sur des supports solidaires de deux chariots guidés pouvant s'écarter ou se rapprocher à volonté par la manœuvre du volant-manivelle, ce qui permet de faire varier la portée de la partie entre galets. La rotation de l'arbre A donne lieu à des efforts obliques sur les galets, dont les composantes longitudinales ont pour effet de déplacer longitudinalement le chariot C. Cette machine, établie sur plusieurs dimensions, permet de dresser des arbres de 20 à 150^{mm} de diamètre et de 7^{m},60 de longueur.

Machine à dresser hydraulique.

Au lieu de produire la pression avec une vis, les machines à dresser les arbres comportent souvent une petite presse hydraulique actionnée par un levier.

Digitized by Google

La *figure 12* (1) se rapporte à une machine de ce genre présentant en outre une disposition pour relever l'arbre de dessus les galets qui le font tourner.

Sur un banc constitué par deux poutrelles d'acier entretoisées et porté par deux pieds, sont placées les poupées extrêmes munies de galets dont l'arbre de l'un d'eux porte une poulie de commande pour la rotation de l'arbre à volonté.

Deux blocs d'appui intermédiaires se déplacent sur le banc pour suivre la presse munie de quatre roulettes facilitant le déplacement. Sur les blocs sont montés des axes à excentriques que l'on actionne par levier et qui relèvent l'arbre en devenant les points d'appui de la partie à fléchir.

Le piston de presse peut être abaissé ou relevé rapidement pour les manœuvres préparatoires; puis il est actionné lentement pour produire la pression, au moyen d'un levier mettant en jeu la petite pompe de compression.

Arbres obtenus par laminage du métal à l'état liquide.

La fabrication des arbres en laminant le métal à l'état liquide a été essayée dès 1869 par Robertson (2).

Ce procédé ne s'est pas répandu; il ne saurait être appliqué que pour les arbres cylindriques pleins ou creux et les dispositions des laminoirs sont les mêmes que celles des laminoirs pour barres rondes et pour tuyaux.

Les arbres étant des organes transmettant des efforts de sens contraire à répétition, le métal qui les constitue doit posséder en même temps que la ténacité, une grande élasticité, une grande ductilité, qualités qui ne peuvent être acquises que par un forgeage énergique, un corroyage prononcé que ne donne pas le laminage à l'état liquide.

---

(1) *American Machinist*, 30 novembre 1893. Constructeur : W. et S. Hyraulic Machinery Works, New-York.

(2) Brevet anglais du 20 décembre 1869, n° 3677.

Digitized by Google

On a préconisé depuis quelques années le laminage et le dressage à froid ou à basse température pour augmenter la ténacité du métal et sa roideur; mais dans ce cas la ductilité est réduite plus ou moins et les ruptures brusques sont à craindre après un certain temps d'usage.

Les *figures 1, 2, 3, 4. 5, 6* et *7, planche 3*, représentent la machine de MM. Mac Bride et Fisher pour façonner dans une seule opération, à chaud ou à froid, les arbres ordinaires, les axes, les essieux.

La pièce est laminée transversalement entre deux cylindres C, B à axes parallèles, tournant en sens contraire. Ces cylindres sont commandés par roues hélicoïdales et vis sans fin.

La pièce est maintenue contre tout déplacement vertical par deux guides P qui s'appuient sur toute la longueur de la partie d'arbre engagée dans la machine. Ces guides se règlent à volonté en position suivant les dimensions de la partie cylindrée. Le réglage se fait automatiquement lorsque les cylindres B et C se rapprochent ou s'éloignent; le cylindre B est fixe par rapport aux déplacements transversaux; seul le cylindre C se déplace.

Pour permettre le déplacement de l'arbre suivant son axe pendant le cylindrage, les cylindres B et C présentent des méplats qui laissent la pièce libre à des intervalles déterminés et permettent de faire agir utilement un mécanisme d'avance automatique, comprenant un plateau-manivelle T monté sur le cylindre B. Ce plateau est pourvu de deux tourillons K″ qui se déplacent à volonté dans la rainure du plateau. Ces tourillons, en heurtant le levier L′, font agir un encliquetage M′ dont le rochet M″ fait tourner d'une façon intermittente l'arbre N′ sur lequel est montée une roue dentée N″ munie d'une chaîne attachée à la pièce à mouvoir.

De chaque côté des cylindres *(fig. 5* et *6)* sont disposés des supports de la pièce; du côté de l'entrée, un support additionnel R′ est nécessaire pour le début de l'opération, alors que l'arbre n'a

Digitized by Google

pu encore être engagé dans le support P′ de l'autre côté. Lorsqu'on veut cylindrer des pièces de forme carrée ou irrégulière, on les munit de bagues permettant la rotation de la pièce sur ses supports.

Pour le cylindrage ou laminage d'arbres à section constante, on règle exactement la position du cylindre C par rapport à B, de manière que l'opération se fasse par un seul passage.

Mais, par exemple, pour des essieux de wagons exécutés à chaud ou à froid, le cylindre C doit se déplacer suivant le profil, et l'on préfère employer des cylindres de forme correspondante à celle à produire.

Collets refoulés ou soudés par chauffage électrique.

Les collets des arbres peuvent être obtenus en façonnant d'abord la pièce à section uniforme, puis en la chauffant à l'endroit déterminé par le procédé électrique (1); on y rapporte une bague en une ou deux pièces, suivant que les dimensions de l'arbre permettent ou non l'emploi d'une bague en une pièce *(fig. 8, 9* et *10.)*

En comprimant longitudinalement l'arbre par des pressions sur les abouts ou en deux points quelconques situés de part et d'autre de la soudure, le métal de l'arbre gonfle, se renfle à l'endroit de la soudure et détermine la liaison tout en martelant ou en comprimant la bague en même temps. On peut disposer les collets avec des gorges ou des entailles qui s'emboîtent dans les bourrelets formés par la compression *(fig. 11)*.

Le chauffage électrique peut avantageusement être appliqué pour souder des parties d'arbres entre elles, des plateaux *(fig. 12* et *13)*, présentant des entailles prononcées pour assurer une tenue parfaite et solide. Le courant déterminant l'arc électrique nécessaire pour de telles soudures doit être de grande intensité et ne saurait être adopté actuellement que pour des

(1) Les figures se rapportent aux dispositions indiquées par Thompson et Lemp.

Digitized by Google

petits et moyens diamètres. Les gros diamètres imposeraient des installations trop onéreuses; il est préférable de s'en tenir au chauffage dans un four.

Pour les tronçons des arbres d'hélice comportant des plateaux à chaque extrémité en vue de leur assemblage entre eux, on peut les rapporter et les souder sur emboîtement *(fig. 13)*, en aplatissant quelque peu l'extrémité de l'arbre et en pratiquant une entaille correspondante dans le plateau. On obtient ainsi plus de résistance aux moments de torsion qu'avec la soudure sur emboîtement cylindrique. Les plateaux soudés par les procédés de chauffage ordinaire dispensent d'un étirage très prononcé des lingots; cependant, comme un tel étirage est favorable à l'amélioration du métal, on préfère, avec raison, dégager ces plateaux dans la masse sans refoulage des extrémités. Wickers, à Sheffield confectionne les arbres des machines marines en acier-nickel avec plateaux refoulés à la presse. Ces arbres, pesant jusqu'à 70^t, proviennent de lingots octogonaux dont on sacrifie la moitié en masselotte. Recuits dans un four de 15^m de longueur sur $3^m,40$ de largeur, ils sont trempés ou non à l'huile. Le lingot pour les grosses dimensions est coupé à un tour pouvant prendre $1^m,30$ de diamètre, dimension qu'on ne dépasse guère actuellement pour ce genre de pièces.

Les arbres creux légers *(fig. 14)* provenant de manchons étirés en tubes au laminoir peuvent avoir leurs collets, brides, portées de calage ou autres renflements formés par refoulement sous pression continue longitudinale; les parties sont moulées dans des matrices telles que celles *figure 15* et les opérations se font en une ou plusieurs chaudes locales. Des mandrins intérieurs sont ordinairement employés conjointement avec les matrices.

Les gros arbres creux d'hélices se font en acier comprimé à l'état liquide sous forme de manchon que l'on étire par étampage énergique au pilon ou de préférence à la presse. Dans les

Digitized by Google

gros arbres pleins, la partie centrale laisse toujours à désirer en ce qui concerne l'homogénéité; le métal est difficile à serrer même par martelage ou pressage très intense, à cause de la haute température que conserve le cœur; au contraire, l'épaisseur relativement faible d'un arbre creux assure une température plus uniforme et permet de forger la pièce intimement dans toutes ses parties, en faisant usage de mandrins et d'étampes dont les dispositions adoptées pour les presses, sont celles *figures 26* et *27* (1).

On part aussi d'un lingot plein que l'on évide au cœur suivant un diamètre qui correspond à celui prévu. Pendant le forgeage, le mandrin en acier est introduit et tient coup aux outils. La pièce subit un étirage prononcé au moyen des étampes en V et ce n'est que vers la fin de l'étirage que l'on adopte les étampes semi-circulaires. Autant que possible le mandrin central, légèrement conique, est creux lui-même pour faciliter le refroidissement par la circulation de l'air et, s'il est utile, par une circulation d'eau; quand, par exemple, le mandrin serre trop et ne peut être retiré sans déterminer une contraction rapide, de préférence à un chauffage accéléré de la pièce au moment de la remise au four. Il est toujours préférable de munir la presse d'un appareil auxiliaire pour retirer le mandrin. Pour assurer un étirage suffisant, il importe de donner au lingot un diamètre double de celui de la pièce achevée. Les chutes des abouts sont de 25 à 30 0/0, tandis qu'elles se réduisent à 10 0/0, lorsque le lingot est comprimé. Après refroidissement, la partie supérieure est affranchie, puis on perce le trou central.

Parfois, les arbres de diamètre inférieur à $0^{m},30$ sont forgés pleins, puis, ils sont évidés à l'ajustage. On conçoit qu'ils ne sauraient présenter autant de résistance que ceux forgés sur mandrin. Trop souvent, après les premières passes de tour-

(1) Voir *Dispositions particulières*, première partie, *planche 1*, *figures 8 à 12*.

Digitized by Google

nage des arbres, on constate des défauts dus aux soufflures qui avoisinaient la surface des lingots; on arrive à les faire disparaître en mattant ou repoussant le métal de manière à pouvoir l'enlever dans les passes suivantes. Il serait plus rationnel de souder la solution de continuité au moyen de l'arc électrique.

Les arbres creux, dont le forgeage nécessite des chaudes plus ou moins nombreuses, sont recuits très uniformément, sont chauffés au rouge cerise pour la trempe dans des fours verticaux, puis plongés dans des bains d'huile contenue dans des puits de grande capacité. Un nouveau recuit suit cette opération.

La trempe douce répétée peut augmenter de 20 0/0 la ténacité sans trop réduire la ductilité, les caractéristiques de l'acier employé étant : $R = 50$ à 55^{kg}, exceptionnellement 60^{kg}; $A = 20$ à 15 0/0 sur 200^{mm}. Avec l'acier au nickel adopté pour ces arbres, on obtient avant trempe : $R = 60$ à 65^{kg}; après trempe, 70 à 75^{kg}. La teneur en nickel est voisine de 3 à 5 0/0.

Il est prudent de ne pas avoir recours à la trempe pour améliorer les éléments de résistance, attendu que cette opération est toujours sujette à la production de fêlures difficiles à constater.

Certains tronçons d'arbres d'hélices ou de roues de bateaux pèsent jusqu'à 25.000^{kg} et plus; ils ont des diamètres extérieurs et intérieurs variant de $0^m,40$ à $0^m,60$ et $0^m,20$ à $0^m,30$ (1); des longueurs de 10^m et plus.

Gros arbres creux à viroles rivées.

Les gros axes ou arbres creux ayant jusqu'à 1^m de diamètre et plus sont constitués *(fig. 16)* par des viroles de tôle rivées

(1) Whitworth, à Manchester, s'est distingué dans la fabrication de nombreux arbres creux en acier comprimé.

Les forges de Bethléem exposaient, à Chicago, un arbre de couche en acier Martin comprimé à 280^{kg} par centimètre carré, de 12^m de longueur, $0^m,675$ de diamètre, avec un trou central de $0^m,225$ et du poids de 30^t. Un arbre en fer forgé de 20^m de longueur, $0^m,50$ de diamètre extérieur, $0^m,20$ de diamètre intérieur, poids de 25^t.

Digitized by Google

à couvre-joints longitudinaux et annulaires formés de fers spéciaux tels que des T, en vue d'assurer plus de raideur.

Le forgeage et l'assemblage de ces viroles ne présentent rien de particulier.

Quant aux tourillons d'extrémité, ils sont pleins ou creux également. Il convient de les forger avec plateau à rebord embouti pour l'assemblage avec la virole adjacente.

Le tourillon plein peut être soudé avec un plateau épais sur téton emboîté, afin d'obtenir une soudure solide, puis le plateau est embouti au marteau ou à la presse sur mandrins.

Le tourillon creux s'obtient en partant d'un flan que l'on emboutit au centre en l'étirant; les rebords sont également formés par emboutissage sur mandrins.

Arbres et essieux à éléments tubulaires (1).

Un autre procédé de construction des arbres et des essieux à éléments tubulaires consiste à emboîter les uns dans les autres plusieurs tubes ou manchons, à section circulaire ou autre, que l'on soude par laminage en cannelures, par martelage ou serrage à la presse sur mandrins. On adopte de préférence des tubes sans soudure et pour empêcher tout déplacement relatif des éléments, on les entoure de fil de fer ou on ménage des saillies qui pénétrent dans les éléments adjacents, au soudage et à l'étirage.

La *figure 17* est un arbre massif formé de divers éléments. Les *figures 18* et *19* se rapportent à un arbre creux : les sections *(fig. 19* et *20)* montrent que les éléments sont munis de rainures longitudinales qui, pénétrant dans la pièce en contact, assurent une grande surface de soudage et de nombreux points d'attache ou de liaison pour résister aux moments de torsion. Les *figures 21* à *24* indiquent les dispositions que l'on peut adopter pour les essieux de wagons.

La *figure 25* est une pièce creuse à manchons de longueur

(1) Procédé Mannesmann. Brevet du 29 octobre 1890.

Digitized by Google

variable pour ménager une plus forte épaisseur au milieu, en vue de résister à des efforts de flexion.

Il est difficile de bien souder entre elles des pièces qui s'emboîtent de ces diverses façons; si pour des arbres d'hélice on cherche à obtenir une paroi à métal résistant, les solutions de continuité entre les diverses viroles doivent réduire la sécurité qu'on attend de ce mode de construction, préconisé cependant par un forgeron expérimenté.

Arbres en fils d'acier.

En ces dernières années, on a proposé l'emploi des arbres d'hélice en fils d'acier, de préférence à ceux pleins ou creux en fers ou en acier forgé. Ces arbres sont formés de fils de petit diamètre massés et réunis ensemble par soudure de leurs extrémités. Les tronçons sont munis de manchons permettant de relier par des boulons les différentes parties de l'arbre.

Les espaces compris entre les manchons sont enserrés dans de petites bandes métalliques pour maintenir l'ensemble des fils de chaque tronçon.

Un arbre de navire peut comprendre cinq tronçons, d'une longueur totale de 30 à 40^{m} formés de 25.000 fils d'acier n° 7, chacun de 5 et 8^{m} de longueur avec 5.000 bridures. La résistance d'un tel arbre serait supérieure à celle d'un arbre plein; l'élasticité serait suffisante pour que l'arbre se prête aux flexions du navire; les ruptures seraient prévenues; la construction serait plus économique que celle d'un arbre ordinaire (1).

Leviers.

Les leviers comprennent un grand nombre de modèles dont les dimensions sont très variables. On y trouve la simple clé de manœuvre d'un écrou, les puissants vilebrequins des

(1) *Annales industrielles*, juin 1893.

Digitized by Google

machines marines et leurs bielles mettant en jeu, pour leur exécution, les plus forts engins de forgeage.

Suivant que les formes sont plus ou moins tourmentées, suivant que les pièces se répètent en nombre suffisant, les leviers se façonnent par les procédés simples de martelage, d'étampage ou de matriçage, les éléments étant pris dans une masse unique ou forgés séparément, puis soudés entre eux.

C'est ainsi que les leviers à main *(fig. 1, pl. 4)* peuvent être exécutés au marteau sur l'enclume en les prenant à la barre, que les clés de robinets, les clés à écrous, celles pour tuyaux, qui toutes se répètent, sont exécutées en matrices sur ébauches préparées par étirage au marteau mécanique. Les ouvertures des têtes sont ou non venues de forge, selon leur grandeur et la disposition du levier.

On ne saurait signaler tous les détails de façonnage de ces organes. Il faut suivre, particulièrement pour les pièces en mouvement subissant l'action des forces vives et d'efforts intermittents, les meilleures règles de travail, les procédés qui n'altèrent pas le métal par des déformations trop prononcées.

Signalons cependant quelques particularités se rapportant aux leviers à bras multiples venus de forge avec leur arbre commun, que l'on étampe dans une barre ou lingot de section suffisante, pour permettre de ménager une amorce pour chacun des bras. Chaque tête *(fig. 2)* de levier est forgée séparément avec la longueur de bras convenable que l'on soude avec l'amorce correspondante, et que l'on dirige suivant l'orientation déterminée, soit en conservant la forme droite, soit en donnant la courbure prévue. Les bras peuvent, de préférence, être obtenus par coudage lorsqu'ils sont aux extrémités de l'arbre. Ils sont d'abord ébauchés, matricés, puis coudés.

Les leviers à bras dans un même plan peuvent ordinairement donner lieu au dégagement du moyeu et des têtes, à l'étirage des bras et à leur courbage ou pliage sous angle voulu.

Si les bras sont dans des plans différents, leur position défini-

Digitized by Google

tive angulaire est réglée par torsion de la partie d'arbre intermédiaire que l'on porte au rouge cerise et, si on le peut aisément, on opère la torsion en laissant la pièce dans le foyer. Si la déviation angulaire est prononcée, on profite de la chaude pour étamper quelque peu le tronçon tordu, resserrer les molécules qui ont subi des glissements importants.

Bielles.

Les bielles ou leviers à deux têtes à articulations *(fig. 3)* doivent généralement comporter une exécution très soignée. Pour les petites et moyennes longueurs, les têtes sont dégagées dans le même morceau que l'on étire pour former le corps de bielle. La pièce est parachevée ou non en matrices. Si les bielles ont des têtes à œil, elles viennent, de préférence, pleines, afin d'éviter les criques ou autres défauts pouvant nuire à la sécurité. Le travail du forgeron est ainsi réduit et facilité, le travail supplémentaire d'ajustage ayant une importance relative négligeable.

Lorsqu'une commande de bielles d'un même type est assez importante, par exemple, pour des locomotives, des machines se faisant en série sur dimensions identiques, on adopte le procédé de matriçage pour les têtes avec amorce de soudage au corps de bielle, qui est étiré et étampé au pilon. Les têtes dites fermées viennent aussi pleines de forge; celles à fourche ont les branches ouvertes en perçant préalablement un trou d'arrêt du plan de séparation des deux branches que l'on tranche au couteau ou à la scie, puis que l'on écarte et mandrine *(fig. 4)*. Si dans le fond de la fourche il se produit une crique, il convient de souder un lardon pour relier les fibres rompues et prévenir la tendance au développement de la crique, qui sera ordinairement évitée, si l'on a soin de percer un trou de diamètre suffisant. Ou mieux, et particulièrement pour les fortes dimensions, la fourchette vient pleine d'étirage du lingot sur les côtés par aplatissement. On perce deux trous vers le fond

Digitized by Google

de la fourche; on scie pour dégager les branches et, suivant le cas, on perce une série de trous ou on tranche à chaud le troisième côté qui tient encore.

Une fourche de côté (*fig.* 5) se façonne d'une manière analogue.

S'il s'agit d'une tête à chape, le corps de bielle est terminé par une partie prismatique facile à forger; le trou de la clavette reste plein. La chape (*fig.* 6) est ébauchée suivant une bande à renflements pour fournir du métal aux angles de coudage, opération qui se rectifie sur mandrin. Quand le corps de bielle présente une double patte d'équerre sur laquelle se fixe la tête, cette patte est obtenue (*fig.* 7) en fendant et ouvrant l'extrémité après perçage d'un trou d'arrêt; puis le rabattement est régularisé en étampes ou matrices.

Les têtes dites colliers à grande ouverture pour tourillons renflés des manivelles d'excentriques sont ordinairement en deux parties obtenues par coudage d'une barre étirée en ayant soin de ménager des renflements pour les angles des coudes (*fig.* 8). Une amorce est aussi laissée à la partie à souder avec le corps de la bielle d'excentrique, si le corps est plein.

Les grosses bielles pour machines marines, le plus souvent du type à palier, sont forgées dans un lingot fortement martelé, étiré au pilon ou à la presse. Les têtes viennent pleines, et la partie formant le chapeau est sciée après l'alésage de l'œil et le perçage des trous de boulons assemblant les éléments de chaque tête.

Les fortes bielles se font aujourd'hui en acier fondu doux présentant une résistance à la traction de 45 à 55^{kg} par millimètre carré de section primitive et un allongement de 25 à 20 0/0. Afin de réduire l'importance des chutes des lingots, ceux-ci sont comprimés à l'état liquide-pâteux, dans les aciéries qui ont adopté ce mode de traitement des aciers. C'est la seule raison qui motive l'emploi de ce procédé pour des lingots de grosseur moyenne qui subissent un forgeage prononcé, à volonté, permettant de faire acquérir au métal les propriétés

Digitized by Google

mécaniques déterminées. Il va sans dire que les bielles en acier sont recuites après forgeage. Les grosses bielles sont forées longitudinalement d'outre en outre, en vue de vérifier par l'aspect du cœur s'il n'existe pas de défaut grave, tel qu'une cassure ou une tapure. On impose parfois la trempe à l'huile après forage. Si le métal est de l'acier doux, la trempe suivie du recuit peut ne pas présenter d'inconvénient; mais avec de l'acier mi-dur, il y a toujours lieu de craindre les fêlures vers les parties à sections variables. Il est prudent de s'abstenir de la trempe, même très modérée, à l'huile chaude. Notons que, pour rechercher les fêlures d'une bielle forée, un moyen simple et le plus souvent efficace consiste à remplir le trou central de pétrole dont les infiltrations dénotent les solutions de continuité les plus serrées.

Pour les divers leviers de moyennes dimensions, soumis à des efforts répétés et qui le plus souvent changent de direction à chaque oscillation, le fer de ferrailles choisies est encore très recherché. Les paquets sont soudés et étirés fortement au pilon, de manière à obtenir le grain fin, à faire acquérir au métal une grande résistance et une grande souplesse.

Un fer à bielle doit présenter une résistance de 38 à 40^{kg} par millimètre carré de section primitive, avec un allongement de 15 à 20 0/0.

Manivelles.

Les manivelles ou leviers animés de mouvement de rotation continu sont, ou rapportés sur leurs arbres, ou venus de forge avec des parties d'arbre. Suivant la position de ces leviers sur l'arbre et selon la forme qu'ils affectent, on les désigne sous les noms de *manivelles proprement dites*, d'*excentriques*, de *vilebrequins*. Les différentes dispositions, ainsi caractérisées, sont groupées sur la *planche 4*.

Les petites manivelles à main et les grosses manivelles des puissantes machines de plusieurs milliers de poncelets peuvent donner lieu à l'application des mêmes procédés de forgeage,

Digitized by Google

es dimensions des outils étant en rapport avec les dimensions des pièces.

La tête d'une manivelle à main sera façonnée avec amorce de soudage pour la solidariser avec le bras étampé séparément, puis recourbé. Le trou de l'œil viendra ou non de forge. Si la manivelle est d'une seule pièce avec son arbre, les deux éléments sont réunis par soudure.

Les manivelles articulées à tourillon et portion d'arbre d'une seule pièce sont forgées dans un seul massiau de fer ou lingot d'acier doux, le profil étant assez grossièrement ébauché en ménageant le métal en vue de couder le tourillon et la partie d'arbre qui ne sauraient être rapportés et soudés, mais doivent avoir leurs fibres non interrompues avec celles du bras du levier *(fig. 9)*.

Autant que possible, il convient que les angles du bras avec le tourillon et l'arbre soient obtus, en vue de faciliter le coudage. Ce n'est qu'exceptionnellement, pour des manivelles à bras de faible épaisseur et larges, soumis à des efforts peu élevés, que l'on opère par soudures à encollage ou à emboîtement, en employant des plaques à souder pour assurer la réussite de l'opération.

La plupart des manivelles de fortes dimensions sont forgées sans tourillon et sans tronçon d'arbre; l'œil de la tête et le trou du moyeu sont percés à l'ajustage. Le travail de forge consiste simplement à marteler ou serrer à la presse une masse suffisante en lui donnant la forme ébauchée de l'objet que l'on achève, soit en matrices, si les pièces se répètent en nombre suffisant, soit à la chasse et à l'étampe, sans chercher à obtenir un fini de forge inutile pour une pièce qui doit être dégrossie, parachevée avec soin à l'ajustage, au moyen d'outils à travail rapide et sûr.

Pour les machines motrices de construction soignée, dont les organes à surface polie ne doivent présenter aucune marque défectueuse, mais un aspect dénotant un métal homo-

Digitized by Google

ène, on adopte l'acier doux. La manivelle est dégagée à l'extrémité d'un lingot sain de dimension suffisante pour obtenir le moyeu par aplatissement prononcé; le bras et la tête sont étirés ensuite; l'excès de métal est découpé à la tranche et après parage la pièce est recuite.

Une simple ou double trempe à l'huile, toujours suivie de recuit, augmente les propriétés élastiques du métal, ce qui favorise l'emmanchement de la manivelle sur son arbre à la presse hydraulique, pour en assurer une tenue parfaite sans emploi de calage supplémentaire.

Il en est de même du tourillon que l'on emmanche à force à la presse, sans toutefois dépasser la limite d'élasticité du métal, bien que celle-ci persiste avec toute son intensité même après une déformation prononcée.

Pour les manivelles de locomotives, on recommande l'emploi de fer fin à grain dé qualité extra donnant 38 à 40^{kg} à la rupture et 20 0/0 d'allongement, ou de préférence un acier accusant : $R = 48$ à 52^{kg}; $A = 20$ à 15 0/0.

Si le bouton vient de forge avec le corps de la manivelle, il faut conserver la continuité des fibres dans le coudage en évitant de fatiguer le fer.

Il est souvent imposé une garantie de deux ans : si le service n'atteint pas ce délai, le fournisseur doit remplacer la manivelle à ses frais.

Les manivelles excentriques constituées par de simples tourillons excentrés sur les abouts des arbres, ou des tourillons excentrés et renflés situés en un point quelconque d'un arbre, sont obtenues par étirage sur épaulement prononcé pour les premiers; les autres sont dégagés dans le corps de l'arbre, ou sont formés par une bande enroulée et soudée *(fig. 10)*, en ayant soin de tenir sur l'arbre à l'endroit de la soudure une portée renflée pour éviter que la chaude soudante ne détermine un affaiblissement de la partie centrale.

Lorsqu'il s'agit d'un arbre de fortes dimensions muni d'excen-

Digitized by Google

trique en un point de sa longueur, et si l'excentrique transmet de grands efforts, on le dégage dans la masse en partant d'un massiau de dimensions capables ne nécessitant aucun refoulement de la pièce *(fig. 11)*.

Les plateaux-manivelles en fer sont soudés par ébauche-manchon sur portée d'arbre renflée, par soudure à emboîtement *(fig. 12)*; ou bien, ils sont indépendants et sont obtenus en fer ou en acier par matriçage avec moyeu plein de préférence au moyeu percé à chaud en matrices.

Dans le cas de plateau indépendant, on prend un lingot cylindrique ou galette que l'on martèle pour l'élargir, l'étamper, l'ébaucher; puis, si le plateau est évidé sur une face *(fig. 13)*, on le matrice sans difficulté en ménageant le bossage du tourillon et celui du moyeu. Si le plateau est à bras variable et comporte une coulisse, celle-ci est faite à l'ajustage. Ces plateaux-manivelles se font aussi en acier coulé que l'on trempe à l'huile et que l'on recuit pour améliorer les qualités du métal.

Arbres coudés ou vilebrequins.

Les manivelles désignées sous les noms d'arbres coudés ou de vilebrequins sont formées par coudage d'une barre ronde, s'il s'agit de petites et moyennes dimensions. On évite de ménager les renflements des angles par refoulement en étirant une barre de section plus forte que celle de la portion d'arbre faisant corps avec le vilebrequin.

En vue de pouvoir utiliser une barre de section égale à celle de l'arbre, les angles des coudes sont obtus et on laisse le raccord naturel pris par la pièce. Dans ce cas, s'il existe des collets à la partie droite de l'arbre *(fig. 14)*, ils sont rapportés et soudés.

Le coudage exact est difficile à obtenir avec précision à cause des quatre coudes deux à deux symétriques. Il faut surtout se garder de trop manipuler le métal et de fermer les angles au

Digitized by Google

delà de la valeur déterminée nécessitant de les ouvrir, ce qui est une cause à peu près certaine de produire des criques dans les angles intérieurs de coudage.

Trop souvent de tels défauts existent dans les vilebrequins à coudes droits; ce sont des points défectueux qui limitent la sécurité de ces pièces soumises à des moments de torsion et de flexion alternatifs répétés, et qui donnent lieu à des ruptures amenant des accidents parfois très graves.

Ce procédé de fabrication s'impose cependant pour le fer afin de conserver aux fibres du métal une direction, une liaison continue.

Pour les gros vilebrequins en fer, on préfère souvent les constituer comme des manivelles doubles, en adoptant deux bras rapportés sur les parties de l'arbre *(fig. 15)*; le tourillon est aussi rapporté; les emboîtements se font à la presse hydraulique à force sur portées d'assemblage. Chaque bras vient de forge sans les trous, le perçage à chaud au poinçon étant de nature à déterminer des criques difficiles à constater. Ces pièces sont donc très simples; elles sont forgées au pilon dans des lingots d'acier ou dans des blocs préparés tout spécialement avec des riblons de tout premier choix fortement martelés et bien soudés. Avec des arbres vilebrequins en plusieurs parties, le prix de revient est beaucoup moins élevé que celui des arbres en une pièce (1).

Un procédé très employé pour les gros vilebrequins consiste à étirer, sous section rectangulaire capable du coude, un massiau ou un lingot, à l'étamper dans les parties cylindriques ou portions d'arbre en laissant des renflements pleins à l'endroit des coudes *(fig. 16)*.

Si l'arbre comporte deux ou plusieurs coudes formant une seule pièce, les renflements sont épanouis, étalés dans le sens

(1) Ainsi, les essieux coudés en acier des locomotives d'une seule pièce se paient moyennement 100 francs les 100^{kg}, tandis que ceux en plusieurs parties ne coûtent que 35 francs. Le prix est réduit à 20 francs pour les essieux de wagons.

Digitized by Google

convenable approximativement dès le début du forgeage; ou mieux après étampage, les coudes disposés suivant une même direction sont orientés, sont maillés par torsion de la pièce réchauffée avec soin dans le tronçon recevant la déformation angulaire. Ici encore, pour ces grosses pièces comme pour les petites, la torsion est donnée en laissant l'arbre dans le four, puis on la complète, s'il y a lieu, ou on la rectifie en la tenant au pilon et en agissant par moyens *ad hoc* sur la partie libre. On a soin de donner quelques coups d'étampes sur le tronçon tordu.

Les renflements étant disposés dans leurs positions relatives, le métal en excès entre les bras de chaque coude est découpé à la tranche ou dégagé à chaud sur deux faces au moyen de la scie circulaire ou à ruban, et la tranche achève le découpage.

La pièce est ensuite réchauffée par parties pour être parée à un marteau de moindre importance que celui qui a forgé, puis elle est recuite au four dormant.

Lorsque l'arbre est usiné sur place, le dégagement du vilebrequin se fait le plus souvent après recuit et à froid, par perçage, découpage à la mortaiseuse, ou mieux à la scie à ruban.

Ce procédé convient pour les vilebrequins à bras très rapprochés construits en fer extra de texture grenue, en acier fondu doux ou demi-dur apte à s'améliorer par les actions de la trempe à l'huile et des recuits.

Un autre moyen comprend le forgeage des deux bras en un seul bloc *(fig. 17)*, l'étampage du corps de l'arbre et des plateaux d'assemblage; le sciage suivant *abc* du bloc après ajustage et tournage de la pièce; le tourillon du coude est ensuite rapporté par emmanchement à force à la presse.

Ou bien encore *(fig. 18)* chaque tronçon d'arbre adjacent est forgé avec deux pattes d'équerres; de même le tourillon du vilebrequin présente deux pattes de chaque côté.

Les différentes parties étant achevées à l'ajustage, les pattes correspondantes sont assemblées à queue d'hironde, et quatre

Digitized by Google

boulons complètent l'assemblage; les bras sont ainsi formés par la réunion des pattes.

Le forgeage des pattes ne comporte aucun coudage, elles sont étirées, dégagées dans la masse avec chasses et étampes en partant d'un lingot à section carrée, de côté un peu supérieur au diamètre du plateau de l'arbre qui est étampé dans la masse également. On peut ainsi employer des lingots moins forts en section, forger avec un rapport d'étirage d'environ 5 et ne pas trop tourmenter le métal pour dégager les parties cylindriques.

Les essieux coudés des locomotives sont en fer fin ou en acier fondu sur sole de qualité exceptionnelle présentant les caractéristiques $R = 50^{kg}$, $A = 20\ 0/0$. Des essais se font actuellement avec l'acier nickel (1).

Les lingots, fortement corroyés, ne doivent présenter aucun défaut tel que lignes, criques, etc. Ils se rapportent à deux, trois ou

(1) Nous avons tout dernièrement soumis à des essais de traction et de torsion des éprouvettes d'acier au nickel provenant d'un essieu de locomotive mis en service à titre d'essai à la Cie...

Les éléments de ces expériences nous ont paru intéressants à signaler ici. Toutes les éprouvettes de forme cylindrique ont été rectifiées à une longueur de 100^{mm} et à un diamètre de 14^{mm}.

Les essais de traction dénotent un métal très apte à subir de grands efforts de traction, à bien résister aux tractions vives et cela à l'état naturel. La trempe a eu pour effet d'abaisser quelque peu l'énergie vive des éprouvettes tout en relevant la limite d'élasticité Re. La comparaison, avec les éléments d'un bon fer soudé, fait ressortir des rapports de ténacité Re, R voisins de 2 et pour celui des énergies de rupture un rapport de 2,35. Le métal trempé et recuit s'est très peu amélioré. Les cassures de traction étaient superbes.

En ce qui concerne la torsion, la trempe a eu pour effet d'élever sensiblement le moment maximum de rupture, mais l'arc de torsion s'est réduit d'une façon étonnante et, par suite, l'énergie de rupture également. Le rapport $\frac{44}{690} = 0{,}064$, de même que celui $\frac{125}{690} = 0{,}18$ causent une véritable surprise; ils montrent que, pour les pièces soumises à la torsion, il ne convient pas de chercher à les tremper quelque peu. A l'état recuit après trempe, le métal accuse sensiblement les mêmes valeurs qu'à l'état naturel. Il semblerait donc qu'avec cet acier nickel dont nous n'avons pas, à regret, la composition (ce doit être $C = 0{,}4$ à $0{,}5$; $Ni = 3$ à $4\ 0/0$), il est inutile, sinon dangereux, de le soumettre à la trempe.

En comparant les éléments de torsion de cet acier avec ceux du fer, on voit qu'un bon fer soudé peut, avec raison, encore être recherché, de pré-

Digitized by Google

quatre longueurs d'essieux pesant environ 2.000^{kg} chacun. L'étirage à la presse (2 à 3.000^{t}), de la totalité du lingot se fait en deux ou trois chaudes, en un temps très court (20 à 30 minutes par essieu). Pour obtenir des surfaces nettes, on achève avec un pilon qui se trouve à proximité de la presse et en projetant de

---

férence à un acier, pour les pièces de torsion dont la grosseur n'impose pas le métal fondu.

Les cassures de torsion de l'acier étaient brusques, nettes, d'équerre; le cisaillement très accusé sans arrachements, toutes caractéristiques s'éloignant beaucoup de la cassure du fer.

Les diagrammes de ces essais parleraient mieux que les chiffres de ce

ESSAIS DE TRACTION	LIMITE D'ÉLASTICITÉ Re	TENACITÉ DE RUPTURE R	STRICTION Σ %	ALLONGEMENT SUR 100^{mm} A	ÉNERGIE DE RUPTURE T	RAPPORTS des ÉNERGIES DE RUPTURE
	kg	kg		mm	kgm	
Acier nickel au naturel . .	36	68	0,42	22	202	
Acier nickel trempé au rouge dans l'huile.	42	73	0,50	14	144	$\frac{144}{202} = 0,77.$
Acier nickel trempé au rouge cerise dans l'huile. . . .	45	88	0,53	12,5	186	$\frac{186}{202} = 0,93.$
Acier nickel trempé et recuit	38	69	0,44	23	214	$\frac{214}{202} = 1,03.$
Bon fer soudé.	18	37	0,46	18	86	$\frac{202}{86} = 2,35.$

ESSAIS DE TORSION	Moment de torsion maximum M = Pl.	Arc parcouru par l'effort tangentiel	Énergie de rupture T	RAPPORTS des ÉNERGIES DE RUPTURE
	kgm	m		
Acier nickel au naturel . .	36,4	9,750	690	
Acier nickel trempé au rouge dans l'huile.	44,5	1,529	125	$\frac{125}{690} = 0,18.$
Acier nickel trempé au rouge cerise dans l'huile. . . .	49,2	0,587	44	$\frac{44}{690} = 0,064.$
Acier nickel trempé et recuit	37,2	10,15	718	$\frac{718}{690} = 1,04.$
Bon fer soudé.	25,1	6,430	303	$\frac{690}{303} = 2,27.$

Digitized by Google

l'eau pour bien dégager les battitures que la pression a fortement imprégnées, ce qui motive l'usage du pilon.

Le lingot de section octogonale d'environ 1^m de diamètre inscrit, s'il s'agit de quatre longueurs d'essieux, est amené à une section uniforme rectangulaire variant suivant le modèle d'essieu de 600 à 700 sur 300 à 400^{mm}. On impose des chutes de 25 0/0 et de 5 0/0. Le lingot est partagé dans la dernière chaude, puis chaque morceau est tracé de manière à indiquer l'excès de métal entre les deux coudes et à l'aplomb de chaque bout d'arbre *(fig. 19)*. Le morceau réchauffé est présenté à la scie qui découpe et dégage d'abord chaque bout; ensuite on pratique les deux saignées entre les coudes; la troisième face est tranchée au pilon. Il ne reste plus qu'à régulariser les parties d'arbres, à les mettre à huit pans en les étirant quelque peu, puis à les étamper, à un diamètre de 200 à 250^{mm}, toutes opérations qui se font à un pilon d'une dizaine de tonnes. Finalement les coudes sont maillés, les parties parées définitivement, l'excès de métal est découpé et l'essieu passe au four à recuire. Ce procédé donne lieu à un grand déchet, en partie utilisable pour pièces auxiliaires, mais il réduit les chauffes et les opérations de forgeage au minimum; il évite de déplacer, outre mesure, le métal pour former les bouts d'arbres. Les vilebrequins sont dégagés à l'ajustage, sinon, il faut dans deux chauffes supplémentaires, une pour chaque coude, découper à la tranche ou à la scie le métal en excès au plus près des dimensions.

Lorsqu'on étire le lingot au pilon, selon la puissance de l'outil (20 à 40^t), il faut au moins deux chaudes par tronçon correspondant à un essieu; il faut trois à quatre fois plus de temps qu'avec la presse.

---

tableau; nous ne pouvons cependant pas nous y arrêter dans cette note additionnelle. (Juin 1897.)

Ce sont des essais de torsion qu'il faudrait imposer pour les essieux coudés des locomotives et non pas des essais de traction. Ces pièces subissent de telles fatigues que leur durée en service dépend beaucoup plus de la ductilité du métal que de sa ténacité.

Digitized by Google

On conçoit que dans les grandes forges produisant les lingots, ceux-ci pourraient être rapidement étirés à un laminoir à quatre cylindres suffisamment énergique. Il importe de ne pas admettre de lingots dont le côté est inférieur à $0^m,600$ et le poids à 3.000^{kg} pour un essieu de 2.000^{kg}.

Souvent les bras des vilebrequins pour locomotives sont consolidés par des frettes en fer ou en acier *(fig. 20)* que l'on pose à haute température quand les bras sont finis d'ajustage. Les dimensions sont telles que la frette exerce un faible serrage suivant le petit axe du bras, la plus grande partie de la pression devant se produire dans la directon du grand axe. La garantie imposée aux essieux de locomotive est ordinairement un parcours de 50.000^{km} en trois ans au maximum.

La confection des arbres à plusieurs vilebrequins *(fig. 21)* est facilitée en les constituant par des tronçons assemblés entre eux au moyen de plateaux ou brides venues de forge que l'on réunit par boulons et clavettes d'about.

Cette construction s'impose particulièrement pour les gros vilebrequins des machines marines dont les plateaux ont des diamètres qui atteignent 1^m à $1^m,20$, des coudes de $1^m,30$ à $1^m,50$, des longueurs de 18 à 20^m, des diamètres de $0^m,500$ à $0^m,600$. Les moteurs des grands vaisseaux donnent lieu à l'emploi d'arbres coudés pesant de 20 à 40^t et exigeant des lingots dont le poids dépasse 100^t (1).

Ces gros arbres coudés se font, autant que possible, avec des lingots comprimés en lingotière. On les ébauche de préférence à la presse plutôt qu'au pilon; mais celui-ci convient mieux pour le finissage. Ils exigent les engins les plus puissants des forges; des marteaux de 50 à 125^t (2), des presses de 4.000 à 14.000^t.

(1) Le steamer *Pilgrin* (États-Unis, 1893) a un arbre à coudes multiples pesant $39^t,5$; le poids du lingot était de 112^t. Cet arbre est du type creux.

(2) Le marteau de 125^t de Bethléem (États-Unis) a forgé le gros arbre de la roue Ferris qui figurait à l'Exposition de Chicago (1893) et dont les dimensions sont : longueur $13^m,325$; diamètre extérieur, $0^m,813$; diamètre intérieur, $0^m,393$.

Digitized by Google

Certains établissements ont des ateliers spécialement organisés pour le forgeage des arbres d'hélice, ou pièces analogues de fortes dimensions.

La construction des arbres vilebrequins donne lieu à un grand déchet de métal. Un arbre plein, en trois tronçons assemblés, pesant 40^t achevé, peut peser en venant de forge 60^t.

On préconise actuellement pour les gros vilebrequins la section annulaire qui permet, pour une résistance déterminée, de réduire le poids final, de parer aux éventualités des défauts que présente une forte épaisseur de métal fondu.

Les bras de ces vilebrequins restent pleins, mais l'évidement a lieu pour le tourillon du coude qui est percé d'outre en outre, de même que les tronçons de l'arbre *(fig. 21)*. Le vide a un diamètre égal à la moitié du diamètre extérieur. Ainsi, Whitworth adopte, par exemple, pour un arbre de $0^m,620$ de diamètre extérieur à l'endroit des tourillons, un diamètre intérieur de $0^m,310$. Un tel arbre, pesant 47.000^{kg} étant achevé, a exigé un lingot d'acier comprimé de 120^t. Le perçage se fait évidemment après achèvement des diverses parties, mais en ménageant la possibilité de donner un étampage et un parage général sur mandrin intérieur, et cela afin de serrer fortement le métal du centre. On a soin d'examiner de très près les copeaux de perçage en vue de constater s'il n'existe pas de tapure ou autre défaut dans la pièce. C'est afin de vérifier le cœur que certains arbres, ou autres pièces analogues, sont forés d'un trou longitudinal de diamètre relativement faible.

Avant d'être livrées à l'ajustage, ces pièces d'acier sont longuement recuites et subissent une ou deux trempes douces à l'huile pour augmenter l'élasticité du métal (1).

On adopte généralement pour ces vilebrequins des aciers

(1) Le chauffage de la pièce se fait dans un four vertical pour mieux répartir la température. De même, la trempe a lieu dans un puits dont la profondeur atteint jusqu'à 20^m. On écume la surface du bain afin d'empêcher l'huile de s'enflammer.

Digitized by Google

doux présentant une résistance à la traction de 50 à 55^{kg} par millimètre carré, et depuis peu des aciers au nickel à limite d'élasticité élevée.

Les aciers manganésés sont recherchés à cause de leur grande ductilité et de leur dureté relative après trempe à l'huile, qui limite l'usure des tourillons et ajoute aux propriétés de résistance.

Les arbres coudés creux de petites et moyennes dimensions proviennent de lingots étirés en tubes *(fig. 22)*. Les parties courbées sont renforcées par refoulement ; ou mieux, on les ménage à l'étirage, en ayant soin de tenir les parois, qui s'allongent au coudage, plus épaisses que les parties comprimées. Le coudage se fait à la presse, dans des matrices en plusieurs parties qui se rapprochent simultanément sous l'action de plusieurs pistons, de manière à agir progressivement en maintenant le métal afin que la section ne se déforme pas outre mesure. Les matrices sont encore disposées comme *figures 23* et *24*, parfaitement ajustées et guidées avec parties facilement rechangeables.

Traverses.

Les traverses forgées sont des pièces analogues à des axes ou des leviers à bras droits ou coudés ; les principaux types sont représentés *planche 4*, *figure 25*.

Ces organes doivent être exécutés en bon fer de riblons ou en acier fondu doux martelé, pressé ; s'ils sont en acier coulé, le travail de forge se réduit à des recuits et trempes à l'huile.

Une traverse en fer est prise dans un lopin de dimensions transversales un peu supérieures à celles de la douille principale ou du tourillon de plus grande section, qui se trouve généralement au milieu de l'organe. Cette partie est dégagée à la chasse et à l'étampe, et les bras, symétriques le plus souvent sont étirés en ménageant aux extrémités et en des points intermédiaires, s'il y a lieu, les renflements pour former les douilles ou les collets des tourillons.

Digitized by Google

Les trous viennent pleins ou, exceptionnellement, ils sont poinçonnés à chaud pour donner suffisamment de métal à la tête percée.

Si les têtes sont coudées, l'ébauche est étirée en prolongement du bras, en ménageant un renflement suffisant pour l'angle du coude *(fig. 26)*.

Glissières, crosses, coulisseaux, coulisses.

Ces organes se font ordinairement en fonte ou en acier coulé. Ce n'est guère que dans les locomotives qu'on adopte des glissières, des coulisses et des coulisseaux forgés en fer fin ou en acier doux.

Les glissières ont leurs pattes d'attache *(fig. 27)* dégagées dans une barre étirée à dimensions et suivant le profil de l'élément, ce qui n'offre rien de particulier.

Une coulisse ordinaire d'une seule pièce est d'abord ébauchée pleine (tracé pointillé *fig. 28*); deux trous sont percés vers chaque tête, puis la pièce est fendue, ouverte, cintrée suivant gabarit.

Les trous des têtes sont ou non dégagés à la forge. Si les œils ou têtes d'attache sont disposés sur le côté, on ménage des renflements correspondant à l'étirage ou au façonnage de l'ébauche.

Les coulisseaux sont des blocs pleins ébauchés à la forme déterminée. De même les corps de crosses, dont les tourillons ou tétons de coulisseaux, sont de préférence ménagés dans la masse.

Si ces pièces sont en fer, elles sont cémentées après ajustage et trempées à la sortie du four. En les faisant en acier demi-dur, on peut également appliquer la cémentation pour obtenir une trempe superficielle suffisamment dure.

Digitized by Google

Rails.

Les guides et supports des roues de véhicules appelés rails peuvent présenter des profils divers et des dimensions assez variables en section et en longueur.

Nous n'avons pas à faire ressortir les avantages ou les inconvénients des formes adoptées ou proposées et dont les principales sont représentées *figure 1*, *planche 5*.

Les rails se font en fer (1) ou en acier. La production des rails en fer se restreint de plus en plus; l'acier converti au Bessemer étant, pour la plupart des applications, le seul métal adopté actuellement.

Avant d'employer l'acier converti, on avait fabriqué des rails en acier puddlé forgé (2), puis en acier fondu au creuset (3). Mais le prix était trop élevé et les rails en acier étaient peu répandus encore vers 1867. Avec l'acier fondu au Bessemer, la production devint économique.

En 1875, le rail en acier est reconnu le plus rationnel et sa fabrication se développe. Aujourd'hui, l'adoption de ce métal est devenue générale; c'est ainsi que le rapport de la production du rail en fer à celle du rail en acier est tombé à moins de 1/200.

L'importance de la fabrication des rails est telle qu'elle représente environ les 70 0/0 de la production totale de l'acier préparé en lingots.

On adopte des aciers convertis à teneurs en carbone variant de 0,25 à 0,35; en manganèse, 0,30 à 0,90.

---

(1) Les premiers rails en fer forgé de Suède furent employés par Georges Stephenson aux mines de Killingworth, en 1810; ils étaient forgés, étampés au marteau et comportaient des longueurs d'environ $1^m,50$. Le prix de la tonne était de 300 francs. Actuellement, le rail en acier coûte 150 francs la tonne.

(2) Appliqué en premier lieu aux usines de Mersey (1857).

(3) Les premiers rails d'acier fondu remontent à 1860. Les rails en acier puddlé et en acier fondu servaient particulièrement pour les changements et croisements de voies.

Digitized by Google

Les procédés d'obtention des rails de fer ou d'acier ne diffèrent que dans la préparation des paquets pour les premiers et des lingots pour les autres.

On employait généralement, pour les paquets des gros rails, deux qualités de fer : du fer brut pour le corps du paquet, du fer corroyé dur à grain fin pour les surfaces de roulement, du fer corroyé nerveux pour les patins ou couvertes de côté.

Les paquets pour rails en acier puddlé comprenaient de l'acier cristallin pour les parties supérieures et inférieures de la pièce, du fer fibreux à l'intérieur et entre ces éléments on disposait de l'acier de qualité intermédiaire pour obtenir un soudage facile dans la masse.

On préconisait, pour la couverte supérieure des boudins, une mise à éléments soudés sur champ, afin de prévenir l'exfoliation que produit une mise ordinaire soudée sur plat. Les paquets ainsi constitués par des fers ou aciers de nature différente étaient difficiles à bien souder. Ils affectaient les dispositions *figures* 2 et 3.

Pour un rail de 6^{m} de longueur pesant 34^{kg} par mètre courant, le paquet avait les dimensions : $0^{m},240 \times 0^{m},100 \times 1^{m},100$; il pesait environ 260^{kg} ; les bouts, déchets, pertes au feu étaient estimés à 60^{kg}.

En moyenne, pour rails en fer, encore employés dans les petites voies de tramways ou autres, on estime que pour 100^{kg} de rails il faut 130^{kg} de fer en paquet dont 14^{kg} pour les chutes et 16^{kg} pour la perte au travail et au chauffage.

Le paquet est étiré en une ou deux chaudes ; le deuxième chaude est donnée après la deuxième passage en vue d'assurer une bonne soudure.

Le laminage comporte cinq à huit passages en cannelures ébaucheuses et soudeuses dans un premier train et cinq à sept passages dans les cannelures du train finisseur. L'opération est rapide, il suffit de quelques minutes.

Les cylindres ont $0^{m},450$ à $0^{m},500$ de diamètre ; $1^{m},20$ à

Digitized by Google

1m,50 de longueur. Les cannelures finisseuses sont disposées comme l'indiquent les *figures 6* et 7.

Les rails Brunel-Barlow *(fig. 6)*, ayant une hauteur moindre que leur largeur, se laminent sur hauteur : ceux à double champignon ou à patin (Vignole), dont la hauteur est plus grande que la largeur, sont laminés sur plat *(fig. 7)*.

La section est donnée aux forges par des calibres qu'il faut suivre au plus près possible.

Pour établir la dernière cannelure, il est nécessaire de tenir compte du retrait (environ 1 0/0), de la pression des cylindres, de l'expansion du métal provenant de l'élasticité, du soulèvement des cylindres. On arrive à régler exactement cette cannelure par des essais préalables.

Il convient de ne donner qu'une très faible pression dans la cannelure finisseuse qui doit rectifier le profil plutôt que produire de l'allongement.

L'étirage varie de 0m,30 à 0m,10 des premières aux dernières cannelures dont la forme et la section sont réglées suivant la loi de décroissance, la forme du rail et la nature du métal. Les *figures 8, 9, 10* et *13* montrent divers types de cannelures pour cylindres duos et trios.

Les cylindres finisseurs pour rails à gorge ou à boudin à nervure employés dans les voies des tramways sont disposés *(fig. 11)* (1) de manière à éviter le laminage sur la hauteur totale du rail, c'est-à-dire que pour éviter les frottements prononcés dus à des cannelures profondes et pour permettre néanmoins de laminer les gorges, le laminage se fait sur direction oblique en donnant la dépouille nécessaire aux nervures, en les écartant suffisamment au moment de leur profilage dans les deux cannelures du milieu, puis en les rapprochant, les resserrant en position déterminée par le passage dans la dernière cannelure où il n'existe pas de contact dans les gorges.

---

(1) Brevet Pkirk, 5 mai 1885. *Engineering*, 18 juillet 1885.

Digitized by Google

Les deux premières cannelures ébauchent simplement le boudin, le rail passant sur plat.

Pour finir le rail du type Broca, la Société des mines et usines du Nord et de l'Est a adopté la disposition *figure 12* (1), qui comprend l'adaptation de deux galets GG′ sur le prolongement des axes des deux cylindres d'un trio.

Un troisième galet G″ à axe vertical est disposé pour dégager la cannelure du boudin de rail.

Ce galet G″ peut être commandé par deux pignons coniques PP′; mais il est préférable de le laisser tourner par entraînement du rail qui se trouve ainsi saisi entre trois galets lui donnant la forme finale voulue.

Cette combinaison convient très bien à titre auxiliaire; mais, pour une fabrication importante et de longue durée, il est préférable d'adopter des cylindres combinés tels que ceux du laminoir précédent, ou du laminoir Flotat indiqué à la fabrication des fers profilés divers.

Lorsque l'étirage de toutes les parties de la section est bien réglé, le rail à rainure simple ou double sort du laminoir en ligne droite, sans nécessiter de guide redresseur. Il faut une grande expérience pour arriver du premier coup à régler les cannelures. Le plus souvent, pour un modèle donné, il y a lieu de tâtonner plus ou moins pour obtenir cette rectitude caractéristique d'un bon laminage que facilite aujourd'hui l'emploi des aciers ductiles.

Rails en acier.

Dans les premières années de la fabrication, les rails d'acier étaient obtenus par des laminoirs analogues à ceux pour rails en fer, qui ne nécessitaient qu'une paire de cylindres ébaucheurs et une paire de cylindres finisseurs, tandis qu'il fallait quatre

(1) Brevet du 3 juillet 1879.

Digitized by Google

paires de cylindres pour les rails d'acier et cela à cause de la température moins élevée que supporte l'acier et de sa plus grande résistance à la déformation. On appliqua ensuite le train universel à changement de marche et à pression pour l'ébauchage.

Le lingot était saisi entre les cylindres suffisamment écartés *(fig. 14)* (1). Le cylindre supérieur s'abaissait pendant que le lingot passait dans la cannelure ébaucheuse autant de fois, aller et retour, qu'il était nécessaire pour amener les cylindres en contact *(fig. 15)*. De plus, les deux cylindres à axes verticaux comprimaient le rail à l'ébauchage. Puis le rail passait successivement dans les cannelures finisseuses, non munies de cylindres verticaux. Cette disposition du train a été abandonnée et l'on adopte les divers modes de travail que nous allons signaler.

Les dimensions des lingots varient avec la puissance des laminoirs, le poids de la pièce qui doit rester maniable, la nécessité de finir le rail en un nombre de passages déterminé correspondant au travail en une ou plusieurs chaudes.

Les lingots *figure 4* ont de $0^m,30$ à $0^m,50$ au gros bout, 3 à 5^{cm} de moins au petit bout et $1^m,50$ à 2^m ou plus de longueur, le poids variant ainsi de 1.000 à 4.000^{kg}. Ces lingots correspondent à trois, quatre, cinq... ou huit rails de 9 à 12^m de longueur et pesant de 25 à 45^{kg} par mètre courant. La dimension la plus courante comporte des lingots de $0^m,35$ pour quatre rails.

L'expérience montre qu'on peut obtenir un bon rail dont la section est de 4.000^{mm^2}, avec un lingot de 300×300, soit 90.000^{mm^2}, ce qui correspond à un étirage ou corroyage de $\frac{90.000}{4.000} = 22,5$. Le poids des lingots est calculé pour tenir compte des chutes.

On pourrait facilement obtenir des lingots profilés tels que

(1) Brevet Marrel, 29 février 1868.

Digitized by Google

ceux *figure 16*, mais on préfère soumettre le métal à un fort laminage pour resserrer le grain et assurer l'homogénéité.

Les lingots sont ébauchés au train blooming en blooms carrés de $0^m,15$ à $0^m,20$ de côté, que l'on coupe à la tranche, au pilon, à la scie ou à la cisaille, en tronçons que l'on réchauffe au blanc orange et qu'on livre au train finisseur composé de deux ou trois cages trios, ou à un train réversible.

Les lingots pour deux ou trois longueurs sont passés au dégrossisseur et au finisseur sans être réchauffés. Il faut de quinze à vingt passages en totalité entre les cylindres.

Certaines usines passent au finisseur un rail toutes les trente secondes et obtiennent une production qui atteint jusqu'à 1000^t de rails en vingt-quatre heures (1). Il y a ordinairement deux rails engagés simultanément, un dans chaque cage du finisseur s'il est bio. Le lopin dégrossi passe dans une douzaine de cannelures ou plus disposées comme l'indiquent les *figures 17*, *18*, *19* et *20*.

Souvent le laminage a lieu en une chaude en quadruple et même en quintuple longueur; il faut des laminoirs puissants, réversibles, actionnés par des moteurs à deux ou trois cylindres de 2.000 à 4000 poncelets et plus.

La température à laquelle se fait le laminage a une grande importance sur la qualité des rails. Il ne suffit pas qu'elle soit également répartie, il faut encore que les barres ne soient pas trop chaudes au début de l'opération, ni surtout trop froides à la fin. Il se produit, dans ce dernier cas, des tensions moléculaires qui peuvent rendre cassant un acier dont la composition est bonne. Certaines forges préfèrent laisser refroidir les lingots avant dégrossissage pour ensuite les réchauffer. On obtient ainsi une répartition de la chaleur meilleure en ce sens que la partie centrale est moins chaude que vers la surface, ce qui convient mieux pour le laminage. Cependant, le lingot est

(1) Les usines de Carnegie, aux États-Unis, ont laminé, avec un train d'Edgar Thomson, jusqu'à 2000^t de rails en vingt-quatre heures.

Digitized by Google

souvent passé au blooming après une station de quinze à vingt minutes dans des fosses de Gjers ou dans des fours à réchauffer, où on les place debout, ce qui donne une chauffe plus égale. Chaque chaude donne lieu à un déchet qui varie de 2 à 4 0/0.

Le réchauffage de blooms froids pour rails dure quatre à cinq heures; pour les blooms chauds, la durée est d'environ deux heures.

Si le bloom est martelé, un pilon de 15^t peut en préparer par jour de 300 à 400, et alimenter un train débitant 700 à 800 rails.

Au début de la fabrication des rails d'acier, on prenait, par exemple, pour un rail de $5^m,50$ de longueur pesant 33^{kg} au mètre courant, un lingot de $0^m,80$ de longueur à section carrée moyenne de $0^m,24$ de côté qu'on réduisait au pilon de 10^t à $0^m,15$ de côté et $1^m,60$ de longueur. Puis la pièce était réchauffée et laminée en dix à quinze passages.

Les rails de moyenne section donnent lieu à trois réchauffages. Une première chaude pour les passages du lingot dans un dégrossisseur réversible.

Les extrémités ou chutes sont ensuite coupées à la tranche au pilon ou à la cisaille et rejetées dans le convertisseur. On compte environ 80 à 100^{kg} de chutes par tonne, avec des lingots à trois rails. L'ébauche est réchauffée, puis passée dans un deuxième train dégrossisseur. La pièce est alors coupée en morceaux de $1^m,50$ environ de longueur, que l'on réchauffe une troisième fois et que l'on fait passer dans le train finisseur.

Lorsqu'on veut éviter la troisième chaude, le rail est laminé en double ou triple longueur, laquelle peut atteindre 20 à 30^m et plus (1).

Le laminage d'un rail peut, par exemple, donner lieu à la notation des éléments suivants (2):

---

(1) A l'Exposition de 1878 de Paris, les forges de Seraing montraient un rail de 55^m de longueur, laminé directement du lingot sans réchauffage intermédiaire.

(2) Extrait de la *Revue universelle des Mines*, 2e série, t. VI, 1879. Aciérie de Seraing. Note de M. Greiner, chef de service des aciéries.

Digitized by Google

A. — *Lingot.*

Poids	765kg
Longueur	1m,150
Base.	345mm × 345mm
Sommet	300mm × 300mm

B. — ***Blooming.***

Longueur du lingot après les passages successifs :

1re cannelure	1m,180 — 1m,220 à 1m,300,	3	passages
2e —	1m,400 — 1m,560	2	—
3e —	1m,650 — 1m,750	2	—
4e —	1m,900 — 2m,260	2	—
5e —	2m,420 — 2m,700	2	—
	Nombre total de passages	11	

Le lingot quittant le blooming a donc une longueur de 2m,700. La section est de 196mm × 196mm.

C. — ***Finisseur.***

Longueur du lingot après les passages successifs :

1re cage-ébaucheur.

1re cannelure.	3.00
2e —	3.50
3e —	4.00
4e —	4.60
5e —	5.15
6e —	6.30

Digitized by Google

2e cage finisseur.

1re	cannelure.	7.50
2e	—	8.90
3e	—	10.70
4e	—	11.80
5e	—	14.80
6e	—	18.80
7e	—	19.60

En tout treize passages.

Un rail de 9m pèse 342kg. On fait 400 rails ou 136t par douze heures.

La machine du blooming a des cylindres de 0m,813 de diamètre et de 1m,20 de course.

Le dégrossissage demande 85kg,3 de vapeur à 3kg de pression.

La machine de l'ébaucheur finisseur a deux cylindres de 1m de diamètre et de 1m,20 de course.

L'ébauchage et le finissage demandent 539kg,2 de vapeur.

Le laminage entier demande: 624kg,5 de vapeur à 3kg de pression par centimètre carré.

On peut remarquer que les coefficients d'étirage sont très irréguliers et établis d'une façon plus ou moins rationnelle, ainsi que le font ressortir les valeurs suivantes :

BLOOMING		
LONGUEURS	DIFFÉRENCES	COEFFICIENT
—	—	—
1,180		
1,220	0,040	0,034
1,300	0,080	0,066
1,400	0,100	0,077
1,560	0,160	0,114
1,650	0,090	0,058
1,750	0,100	0,060
1,900	0,150	0,085
2,260	0,360	0,190
2,420	0,160	0,071
2,700	0,280	0,116

Digitized by Google

ÉBAUCHEUR

LONGUEURS	DIFFÉRENCES	COEFFICIENT
2,700		
3,000	0,300	0,110
3,500	0,500	0,167
4,000	0,500	0,143
4,600	0,600	0,150
5,150	0,550	0,120
6,300	1,150	0,224

FINISSEUR

LONGUEURS	DIFFÉRENCES	COEFFICIENT
6,300		
7,500	1,200	0,190
8,900	1,400	0,188
10,700	1,800	0,160
11,800	1,100	0,103
14,800	3,000	0,255
18,800	4,000	0,270
19,600	0,800	0,043

La moyenne des coefficients d'étirage est de 0,10 pour le blooming, de 0,15 pour l'ébaucheur, de 0,20 pour le finisseur.

Ordinairement pour le dégrossissage on admet un coefficient de 0,2 à 0,3; ainsi un lingot de 230 × 240 passe successivement aux dimensions 200 × 210, 195 × 185, 165 × 155, 145 × 138, 125 × 120.

Les cylindres des trios ont de 0m,60 à 0m,70 de diamètre faisant de 100 à 130 tours par minute; ceux des trains réversibles ont de 0m,70 à 0m,80 de diamètre.

Les trains pour rails sont aussi disposés en prolongement l'un de l'autre *(fig. 21)* et actionnés directement par un moteur réversible à grande vitesse (1). On opère en une chaude sur deux ou trois longueurs.

(1) En 1875, Seraing appliquait le train réversible à commande directe, par moteur sans volant à changement de marche.

A la même époque, un train réversible pour rails, modèle Scott et Taylor, était adopté par la *Panteg Streel Works (Pontypool)*. (*Engineering*, 26 mars 1875.

L'ensemble peut comprendre un laminoir *blooming* avec culbuteur hydraulique recevant les lingots dans leur position verticale et les couchant horizontalement sur les rouleaux d'engagement. Quand le lingot est passé par toutes les cannelures de la première cage, il est pris par un transbordeur qui le porte sur les rouleaux engageurs de la deuxième cage et la pièce passe dans les diverses cannelures par une marche alternative du train.

Au sortir du dégrossisseur, le transbordeur porte l'ébauche sur les rouleaux engageurs de la cage finisseuse.

A la sortie du train finisseur, le rail est dirigé vers les scies qui abattent une chute de $0^{m},80$ à 1^{m} pour l'extrémité qui correspond à la partie supérieure du lingot et une autre de $0^{m},20$ à $0^{m},40$ pour l'autre extrémité. Le rail est tronçonné aux longueurs voulues. L'équipage du train se réduit, dans ce cas, à quatre hommes et deux conducteurs de machines se relevant. Une variante de fabrication est la suivante : le lingot pour rails de 35^{kg} a comme dimensions : $300 \times 270 \times (1^{m},80$ à $2^{m},10)$ pesant 900 à 1200^{kg} pour trois ou quatre longueurs. On réchauffe les lingots dans un four à gaz placé sous le sol de l'usine, et on les amène au laminoir par un appareil hydraulique. Le laminoir comprend deux cages ayant chacune six cannelures ; le rail passe huit fois dans l'ébaucheur et six fois dans le finisseur.

On écarte, à volonté, les cylindres de l'ébaucheur, pour donner des pressions en rapport avec les dimensions et permettre de multiplier les passages s'il est nécessaire, selon la section qu'il convient de donner à l'ébauche.

La cannelure finisseuse se trouve la plus rapprochée de la machine ; cela présente l'avantage que les fours sont plus près de la première cannelure de l'ébaucheur. De plus, on peut déplacer les cages sans modifier la position de la cannelure finisseuse par rapport aux scies.

On adopte, de préférence, pour la conduite des trains à

Digitized by Google

rails, des machines à changement de marche, à détente variable, au régulateur, l'admission de vapeur étant inférieure à 0,50, particulièrement pour les passages à travers les dernières cannelures qui exigent une moindre énergie mécanique. On emploie des machines compound du type pilon qui sont ou non à condensation, ou des machines à un cylindre. Le changement de marche est actionné par un servo-moteur. Il comprend souvent une coulisse de Gooch en relation avec un moteur hydraulique, la pression d'eau étant de 15 à 20^{kg}.

La machine à volant avec trio présente des dimensions moindres pour la même puissance développée, mais le trio est plus compliqué, comprend un plus grand nombre d'organes, la pose exacte des cylindres est difficile; il faut des engins mécaniques pour relever la pièce à laminer et des ouvriers plus habiles qu'avec une machine réversible qui ne consomme pas plus de vapeur si la détente se fait dans de bonnes conditions.

Les nouveaux laminoirs à rails installés aux États-Unis comprennent deux trains, un blooming et un finisseur. Le trio-blooming de l'aciérie de Bethléem (1) comprend des cylindres de $1^m,20$ de centre en centre, de 3^m de longueur de table présentant 14 cannelures à serrage fixe (7 sur la longueur d'un cylindre). En quatorze passes le lingot de $0^m,40$ est transformé en bloom de $0^m,20$. Le cylindre du milieu est attaqué directement par un moteur à condensation à enveloppe de vapeur, ayant un cylindre horizontal de $1^m,65$ de diamètre, $2^m,20$ de course, un volant de 100^t, de $9^m,75$ de diamètre et faisant 30 à 40 tours par minute.

Le bloom de 6 à 7^m sortant de la dernière cannelure du blooming est conduit directement, par des rouleaux, à la première cannelure de la cage ébaucheuse. L'ébauche est coupée en tronçons que l'on réchauffe et que l'on passe au finisseur, qui comprend deux cages-trios commandées directement par

(1) *Revue universelle des Mines*, t. XVIII, 1885, p. 587.

une machine compound tandem triple de 3.000 à 4.000 poncelets marchant à 120 tours par minute.

On a appliqué dernièrement aux trios pour lingots et rails des dynamos en série qui remplacent avantageusement les moteurs à vapeur pour la commande des tables. Une dynamo sert pour la levée, une pour les galets, une troisième pour le transbordement.

Les dynamos de levée et de transbordement sont pourvues de freins électromagnétiques qui les arrêtent dès qu'on supprime le courant et se desserrent dès qu'on le rétablit pour le renversement de la marche.

Laminage de rails par métal à l'état pâteux-liquide.

Pour l'application du procédé de laminage du métal à l'état liquide-pâteux aux rails, le laminoir présente les dispositions *figures 1* et *2, planche 6*. Le métal s'écoule entre quatre cylindres dont les axes se trouvent dans un même plan horizontal. Ces cylindres moulent le métal suivant le profil déterminé et l'ébauche guidée par un mandrin de forme se dirige vers un deuxième laminoir placé au-dessous du premier et donnant une pression suffisante pour assurer une densité convenable. Puis l'ébauche est dirigée vers un train finisseur, en s'appuyant sur une série de rouleaux ramenant le rail dans une direction horizontale pour passer entre les deux groupes de cylindres finisseurs.

On peut ainsi obtenir des longueurs très grandes que l'on débite aux dimensions transportables avec facilité.

M. Buisset a proposé de comprimer le lingot ébauche dans les lingotières de $2^m,50$ de hauteur et de le laminer verticalement à sa sortie de la lingotière, puis de le conduire à un laminoir horizontal finisseur. Ces procédés ne sont pas entrés dans la pratique actuelle; les opérations sont assez délicates pour la coulée continue; de plus, le métal subissant peu d'étirage, ses qualités de résistance ne sont pas suffisamment améliorées.

Digitized by Google

Rails creux.

Les rails creux peuvent présenter des sections variées telles que celles *figure 3* (1).

On utilise pour la fabrication de ces rails les tubes sans soudure obtenus par laminage hélicoïdal.

Ces tubes sont transformés dans des cannelures appropriées jusqu'à ce qu'ils prennent un profil tel que, par suite de la forme particulière des flasques et de la semelle, le rail présente une élasticité suffisante pour pouvoir diminuer sensiblement les chocs si préjudiciables au matériel roulant.

Pour réduire la sonorité de ces rails et soutenir les parois pendant l'opération du laminage, il suffit de remplir le tube ébauche de scories, de matières vitreuses ou autres qui se ramollissent à la température du travail du rail.

Ce bourrage assure une déformation plus régulière de la paroi métallique en quelques passages entre les cylindres cannelés. La transformation de la section primitive s'effectue aussi par étampage à la presse.

La fabrication de ces rails est plus onéreuse que celle des rails ordinaires et les avantages préconisés n'ont pas motivé leur adoption.

Affranchissage des rails.

L'affranchissage des rails à chaud se fait de préférence à la scie circulaire.

Le rail est placé sur un support mobile que l'on rapproche de la scie; ou mieux le rail est fixe et deux ou trois scies montées sur chariots opèrent en même temps en se déplaçant transversalement à la longueur du rail, soit dans le sens horizontal, soit dans le sens vertical. Le rail est conduit à la scie circulaire par des rouleaux placés au niveau du sol et mis en mouvement par le moteur qui actionne la scie.

(1) Brevet Mannesmann du 12 mars 1891.

Digitized by Google

On fait tomber aux deux extrémités des chutes de 0m,40 à 0m,80 de longueur, afin d'enlever la partie détériorée par l'entrée dans les cylindres du laminoir. Les scies ont des diamètres de 1m à 1m,50 faisant 1.500 à 2.000 tours par minute; elles exigent une puissance variant de 2 à 4 poncelets.

Dressage des rails.

A la sortie du laminoir, les rails ayant des sections non symétriques se refroidissent inégalement, se courbent plus ou moins; le patin se contracte plus vite que le champignon qui est plus épais.

On atténue les effets de l'inégalité du refroidissement en empilant les rails encore chauds.

Il faut néanmoins les redresser, les dégauchir avec le plus grand soin à froid ou à chaud en tenant compte de la déformation due aux contractions.

Pour les petites dimensions, on emploie encore le maillet et le banc à dresser, le rail étant encore chaud à la sortie du laminoir; le banc doit présenter une contre-courbure qui correspond à celle que prendrait un rail droit après refroidissement. Après dressage, les rails sont disposés sur des rouleaux ou sur une table en fonte, le refroidissement se faisant d'une façon assez régulière ne nécessitant qu'un redressement peu prononcé à froid au moyen de presses simples à excentriques *(fig. 4* et *5)*. ou une courbure déterminée par les rails cintrés.

En donnant à la sortie du laminoir la contre-courbure de retrait, on peut se dispenser du dressage à chaud.

Ces procédés ne suffisent pas lorsqu'il s'agit de rails d'acier; ils sont aussi trop lents.

Il est préférable d'employer des machines à galets ou cylindres dresseurs disposés en nombre suffisant, les uns à axes verticaux, les autres à axes horizontaux, les premiers dressant la pièce sur plat, les autres la dressant sur champ comme le montrent les *figures 6* à *10*.

Digitized by Google

Chaque groupe de galets peut comporter des galets rechangeables à volonté suivant les dimensions des rails; ou bien, une ligne de galets peut se déplacer, soit latéralement, soit verticalement, pour régler la position convenable.

Ces galets sont commandés pour la rotation par des engrenages; ils entraînent le rail par pression suffisante et le redressent en un ou plusieurs passages alternatifs.

Une machine donnant un travail rapide est celle *figures 11* à *13 bis* (1). Elle comporte six galets à axes verticaux F^2F^3 dont les arbres sont tous commandés par des roues cylindriques. Deux de ces galets ont leurs arbres porteurs de roues hélicoïdales actionnées par les vis CC.

Les galets F^3 peuvent être déplacés latéralement et réglés en position par les vis de calage H *(fig. 13 bis)* qui s'appuient sur les coussinets des arbres. Ces galets F^2F^3 s'appliquent *(fig. 13 bis)* sur les côtés du rail; ils ont des profils de forme enveloppe correspondant au profil du rail, qui est ordinairement présenté de l'autre côté de la machine.

Six autres galets FF′ ont leurs axes horizontaux et s'appliquent alternativement sur le boudin et sur le patin du rail.

Les deux galets F′ peuvent se déplacer verticalement pour régler la pression, le déplacement des coussinets des arbres étant obtenu par des vis V à mouvement simultané *(fig. 13)*.

Les galets FF′ sont également entraîneurs et commandés par des roues d'engrenages prenant mouvement sur l'arbre de commande B qui peut tourner dans les deux sens, en permettant ainsi le passage alternatif du rail entre les galets.

Avec la machine *figures 14* et *15* (2), il est possible de redresser le rail de tous les côtés sans le retourner. De plus, le réglage de l'action des dispositifs presseurs se fait automatiquement en utilisant les irrégularités de courbures que présente le rail à dresser.

Le rail B est engagé dans une ouverture du bâti.

(1) Machine Windsor-Richards (*Engineering*, 1er juillet 1881).

(2) Brevet du 3 juin 1886. Machine Gustin, assez employée en Amérique.

Digitized by Google

De chaque côté de la machine, quatre presseurs ou pousseurs D sont groupés autour de l'ouverture centrale et font face, à l'intérieur, aux quatre côtés du rail qui traverse cette ouverture en avançant par l'action de cylindres d'amenage.

Des excentriques G, actionnant les pousseurs, sont calés sur des arbres recevant leur mouvement par les engrenages H. Les galets pousseurs sont montés sur des étriers dont la tige est de longueur variable à volonté au moyen d'une roue dentée K engrenant avec L dont l'axe est actionné à la main par le levier M à portée de l'ouvrier, qui doit être assez habile pour choisir les moments opportuns pour arrêter le rail en les points où les presseurs doivent exercer leur action.

Pour faire marcher la machine automatiquement, elle est munie d'appareils réglés par les courbures du rail et dont la description ne saurait être signalée dans cette étude.

Éclisses pour rails.

Les éclisses reliant les extrémités des rails sont en fer ou en acier, présentent les sections *figure 16* et se façonnent à la barre comme des fers profilés en partant de paquets ou lingots de section carrée donnant une longueur plus ou moins grande que l'on tranche à la scie.

Par exemple, on emploie des lingots de $0^{m},600$ de longueur et de $0^{m},080$ de côté. D'une seule chaude, la barre est laminée, les éclisses coupées à longueur, puis percées et dressées. Les quatre trous des boulons d'assemblage sont percés à chaud d'un seul coup de poinçonneuse, puis la pièce est redressée en la plaçant dans un bloc un peu concave; quatre chasses ou becs ronds agissent sur l'éclisse aux points où elle a été poinçonnée; l'éclisse est retournée pour recevoir de nouveau l'action des outils dresseurs qui doivent être parfaitement réglés si la machine comporte des organes à liaisons rigides.

Digitized by Google

Traverses pour rails.

Les traverses métalliques pour rails sont les supports de ceux-ci, et, à ce titre, il convient de les classer parmi les éléments des voies ferrées plutôt que de les considérer comme des barres profilées.

Les premières traverses furent en fonte; elles ne résistèrent pas. C'est vers 1868 que M. Vautherin, des forges de Franche-Comté, indiqua l'emploi des traverses en fer auxquelles il donna la forme d'une auge renversée, dont le poids, pour une longueur de $2^{m},40$ à $2^{m},50$, variait de 30 à 45^{kg}. Ce poids est porté actuellement, dans les divers types pour voies principales, à 50 et 60^{kg}.

Les traverses présentent des modèles quelque peu variables, comme le montrent les *figures 17* à *29*.

L'emploi du fer soudé donnait lieu à des fissures, des dessoudures amenant la mise au rébut; aujourd'hui on adopte le fer fondu ou l'acier doux malléable qui se forge sans difficultés et assure une plus longue durée.

Les traverses à profil constant se laminent par les mêmes procédés que ceux suivis pour les fers profilés analogues, soit par étirage avec métal en excès ménagé pour les ailes, soit par étirage et pliage en cannelures, soit par la combinaison des deux méthodes.

Pour les traverses en fer soudé, on partait d'un paquet profilé passant dans un petit nombre de cannelures, la pièce laminée pouvant correspondre à deux ou plusieurs traverses débitées à la scie à chaud.

De même, avec un lingot de fer fondu ou d'acier, on opère en une chaude le laminage d'une pièce comprenant un certain nombre de traverses que l'on scie à longueur ($2^{m},50$) environ, et que l'on emboutit à la presse, immédiatement, sans réchauffage. Si le profil de la traverse est à section variable en épais-

Digitized by Google

seur, les cylindres finisseurs sont disposés, comme il est nécessaire, pour qu'à chaque tour une traverse soit profilée.

Les traverses inclinées et fermées à chaque bout sont réchauffées au rouge et reçoivent leur forme définitive par étampage au pilon ou à la presse.

Les traverses ordinaires *(fig. 25)* pour petites voies sont débitées dans des bandes d'épaisseur voulue, puis réchauffées; la partie du milieu est emboutie d'un seul coup sur mandrins appropriés à la presse ou au pilon.

La traverse Brunon *(fig. 23 et 24)* est aussi obtenue par emboutissage à la presse.

Traverses creuses.

Les traverses creuses en forme de boîte ou caisse *(fig. 28)* (1) sont fabriquées avec des tubes sans soudure obtenus par laminage hélicoïdal, que l'on transforme par le passage en cannelures de cylindres finisseurs, ou au moyen de mandrins profileurs.

Ces traverses sont ou non remplies de matières réduisant la sonorité. Ces matières sont composées de verre, de scories ou autres qui deviennent pâteuses à la température de travail de la traverse.

Lorsque les traverses sont d'une seule pièce, le bourrage s'effectue, de préférence, avant la transformation de la section circulaire en celle du profil voulu.

Le bourrage terminé, on a soin de fermer les extrémités du tube de sorte que, pendant le travail, le bourrage se comprime fortement et remplit tous les vides, formant ainsi un tout cohérent et compact augmentant le poids et la solidité.

Pour faciliter la construction, dans le cas où l'assise de la traverse est élargie, elle est formée de plusieurs parties à parois planes ou ondulées que l'on réunit par rivets *(fig. 29)*.

(1) Traverses Mannesmann. Brevet du 30 octobre 1890.

Digitized by Google

Les traverses à bourrelets *(fig. 30)* dispensent de l'emploi de coussinets d'appui rapportés; les bourrelets sont étampés à la presse. Les étampes intérieures se composent de plusieurs parties en vue de leur enlèvement facile de la traverse lorsque la façon est donnée.

Roues.

On peut distinguer : les roues pour voies de terre et celles pour voies ferrées.

Les roues pour véhicules ordinaires se construisent de temps immémorial en employant le bois pour la jante, les rais et le moyeu; la fonte pour garnir le moyeu et former la boîte, le fer pour renforcer la jante sous forme d'armatures, ou sous forme de bandage constituant un cercle d'une seule pièce.

Ce n'est guère que depuis l'emploi des locomobiles que les roues pour voies de terre commencèrent à se fabriquer entièrement en métal avec parties en fonte et parties en fer. On les trouve ensuite adoptées dans quantité d'engins agricoles.

Avec la confection des nouveaux véhicules d'artillerie, la construction de ces roues a été très perfectionnée. Leur fabrication est devenue une branche d'industrie qui tend à se spécialiser; divers ateliers se sont développés en vue de produire ces organes dans les meilleures conditions d'exécution et de prix de revient.

Les roues pour voies ferrées étaient primitivement en fonte. En 1826, Nicholas Wood eut l'idée de les garnir d'un bandage en fer; les premières roues à bandage furent fabriquées à l'usine de Redlington.

Ce furent les roues pour locomotives qui amenèrent, ensuite, la construction de la roue entière en fer forgé avec bandage rapporté, facile à remplacer après usure.

C'est dans son brevet du 30 septembre 1816 que Stephenson spécifiait l'emploi du fer malléable pour les rendre à la fois plus

Digitized by Google

légères, plus durables et plus sûres que les roues en fonte (1).

Dès 1838, Grinie appliquait son procédé de soudage partiel au four et de martelage à plat dans un moule creux.

La roue pleine pour wagon est préconisée par Smith, en 1848, qui la confectionne dans une série d'enclumes de formes différentes en employant des marteaux de formes correspondantes.

A la même époque, Petin, Gaudet et Morel, à Saint-Chamond, installent les premiers laminoirs pour bandages dits : sans soudure, obtenus par l'enroulement, en hélice ou en spirale (2), d'une bande de fer dont les joints multiples sont soudés sur bigorne ronde, au marteau-pilon, qui ébauche en même temps le boudin.

En 1849, Christie cherche à souder les éléments de la roue à rais en employant des coins mobiles disposés dans une sorte de cuve ou de moule et destinés à produire la soudure par un ensemble de pressions horizontales et verticales.

MM. Deflassieux et Peillon (3) appliquent, en 1854, le procédé de matriçage permettant de souder toutes les parties de la roue, simultanément, en quelques coups de marteau-pilon.

Ce procédé est ensuite perfectionné sous la raison Arbel, Deflassieux et Peillon (4) et s'applique avec un succès soutenu aux roues de tous diamètres, simples ou complexes.

Daelen avait déjà (1850) essayé de laminer la roue à âme pleine et s'en tenait au procédé de matriçage combiné avec un laminage partiel. De même, en 1856, MM. Brignon et Goudet appliquaient le matriçage pour souder et profiler les bandages.

Ceux-ci se faisaient en acier puddlé, en fer cémenté, en fer et en acier soudés. Ceux dits sans soudure, obtenus par enroulement, ne présentant pas toute la sécurité voulue, on adopta

(1) *La Vie des Stephenson*, par Samuel Smiles, 1868.

(2) Brevet Renard du 17 janvier 1848.

(3) Brevet du 26 juin 1854.

(4) Brevet du 3 février 1857.

Digitized by Google

l'acier fondu raffiné qui permit d'obtenir le véritable bandage sans soudure et la roue pleine également non soudée.

En 1863, les roues Krupp étaient mises en service et donnaient toute satisfaction (1).

Néanmoins, les roues en fer, plus économiques, sont encore généralement adoptées, tandis qu'au contraire, pour les bandages, la substitution de l'acier fondu aux produits soudés s'est opérée d'une façon progressive; l'acier est aujourd'hui exclusivement employé pour les bandages des roues de wagons et ceux des roues de machines en adoptant des aciers mi-durs, obtenus sur sole Martin, de préférence à ceux provenant d'un convertisseur Bessemer.

Roues pour voies de terre.

Le travail de forgeage que nécessitent les roues ordinaires des véhicules pour routes consiste dans la confection du bandage, des frettes, du moyeu et dans leur mise en place à chaud.

Le bandage est pris dans une barre droite à section rectangulaire dite fer à bandages. Autrefois le cintrage se faisait à bras, au marteau ou sur mandrin par flexion et à chaud. Aujourd'hui l'emploi de la machine à cintrer à froid est général; elle permet d'opérer avec sûreté, uniformité et rapidité.

Le bandage a ses abouts soudés par courtes amorces faites avant cintrage *(fig. 1, pl. 7)*. Dans cette dernière opération, on a soin de laisser croiser les bouts, de manière qu'en les écartant, l'élasticité du métal détermine une certaine compression favorisant la soudure qui est faite soit sur l'enclume, soit mieux avec une machine à comprimer et à souder telle que celle *figure 2*.

Le forgeron prend ordinairement ses mesures de manière à devoir allonger le bandage plutôt que le raccourcir de un ou deux centimètres pour obtenir le diamètre exact, qui est tenu

(1) Avant 1858, on fabriquait en Allemagne des bandages en acier fondu sans soudure.

Digitized by Google

plus petit que celui de la roue en bois, de manière qu'étant chauffé au rouge sombre, il puisse emboiter facilement la roue et qu'un refroidissement rapide à l'eau, ramenant le bandage à un diamètre très peu différent du diamètre primitif, détermine cependant un serrage suffisamment prononcé des différentes parties de la roue.

Ainsi, pour une roue à diamètre intérieur de bandage tenu à 2^m, le chauffage à une température de 800° portant ce diamètre à $2^m,020$, il est possible de l'engager assez aisément sur une roue tenue à un diamètre extérieur de $2^m,010$ à $2^m,015$ qui se resserre, se réduit entre 2^m et $2^m,001$ (1), donnant une tension dans le bandage de 0^{kg} à 10^{kg} et une pression sur la jante qui varie avec l'épaisseur du bandage.

Le chauffage uniforme des bandages se fait convenablement dans les foyers annulaires en brûlant du bois ainsi que le font la plupart des maréchaux ferrants, dont le matériel pour l'embatage des roues est toujours très simple : quelques traverses pour supporter la roue; des griffes pour la mise en place du bandage avec coups de marteau; arrosage au seau complété par le refroidissement en faisant tourner la roue qui plonge dans une auge remplie d'eau.

Dans les arsenaux, les ateliers où ces roues se confectionnent en grand nombre, on fait usage de fours spéciaux pour le chauffage continu des bandages qui se succèdent, de tables à redresser, rectifier les pièces, et de plates-formes métalliques à embatre telles que celles *figure 3* (2).

La machine à rectifier les bandages *(fig. 4)* comprend quatre secteurs S, rechangeables suivant le diamètre de la pièce, qui sont articulés à des leviers reliés aussi par articulation à la tête d'une vis V dont l'écrou est disposé au-dessous de la table P sur laquelle est placé le bandage, chauffé au rouge cerise. La

---

(1) Pour un agrandissement de 1^{mm} la tension $R = EI = \frac{18.000 \times 1}{2.000} = 9^{kg}$.

(2) Machines construites par M. Dard, Paris.

Digitized by Google

manœuvre du volant à manettes A détermine le monte et baisse à volonté de la vis V, et par suite l'application avec serrage voulu des secteurs contre l'intérieur du bandage que l'on déplace circulairement pour soumettre les différentes parties à l'action des secteurs, tout en frappant du marteau s'il est nécessaire pour bien appliquer les parties défectueuses contre les secteurs et contre le plateau P, servant de table de dégauchissage.

L'opération doit se faire vivement de manière à ne pas laisser trop refroidir la pièce qui doit dans la même chaude être placée sur la roue au moyen de l'appareil *(fig. 3)*, relativement simple, qui permet d'opérer rapidement et plus sûrement qu'avec les supports ordinaires.

Pour embatre une roue, l'appareil est disposé comme l'indique le dessin, après avoir toutefois enlevé la vis V, puis placé la roue sur les patins P et remis la vis dans sa chape en lui faisant traverser le moyeu et en la maintenant par la clavette C. La roue est, de plus, fixée par le serrage de l'écrou à manettes s'appliquant sur une large rondelle R. Le cercle ou bandage est placé au moyen des griffes ordinaires en se servant des patins P comme points d'appui pour faire abatage et engager le bandage sur la jante.

Pendant cette opération, le bandage est arrosé pour empêcher de brûler la jante trop fortement. Aussitôt l'embatage achevé la clavette C est enlevée, la vis V dégagée, et posant le pied sur la pédale A, la machine est déclenchée pour faire basculer la couronne D autour de ses tourillons pivotant dans les supports S. La roue étant amenée dans la position verticale, on passe dans le moyeu un axe en fer pour la rouler, l'amener au-dessus de l'auge et la rouler dans l'eau froide.

Le frettage du moyeu n'offre rien de particulier.

Digitized by Google

Bandages sans soudure.

De même que pour les roues de wagon, on a appliqué depuis un certain nombre d'années aux roues ordinaires le bandage sans soudure en fer soudé ou fondu ou en acier doux.

Citons le procédé consistant à prendre une billette A *(fig. 5)* (1) de largeur égale à celle du bandage, d'épaisseur égale à quatre fois celle de l'épaisseur du cercle achevé, de poids égal à celui du bandage, plus le déchet de chauffage. La billette est percée vers les bouts, puis *(fig. 6* et *7)* fendue, ouverte et bigornée, en lui donnant la forme d'un anneau plus ou moins régulier que l'on réchauffe dans un four pour la laminer dans un laminoir spécial en réduisant l'épaisseur et régularisant la forme *(fig. 8)*. Le bandage est ensuite refroidi lentement sur un mandrin de diamètre voulu qui assure une contraction uniforme.

Pour un bandage de $1^{m},40$ de diamètre, de 15^{mm} d'épaisseur et de 60^{mm} de largeur, pesant 32^{kg}, on prend une billette de $0^{m},060 \times 0^{m},060 \times 1^{m},20$, pesant 34^{kg}.

Roues métalliques pour voies de terre.

Les roues entièrement métalliques appliquées, en premier lieu, aux locomobiles sont ordinairement constituées par un moyeu en fonte ou en acier coulé avec nombreux rais en fer assemblés par scellement au moment de la coulée.

La jante en fer, parfois à section à T, est d'abord rivée avec les rais mis à longueur et terminés vers le moyeu en queue de poisson. L'ensemble est convenablement disposé dans le moule qui réunit les rais et constitue une pièce rigide, dont la résistance est augmentée par le bandage, si la roue en comporte un, posé avec un serrage suffisant; ce bandage est, de plus,

(1) Brevet Martin, 20 juillet 1877 (M. Martin a appelé ce procédé « procédé Moreau », parce qu'il est dû à son contremaître M. Moreau.)

Digitized by Google

boulonné ou rivé. La jante ou le bandage des roues pour machines agricoles est souvent venu de laminage avec des saillies, des empreintes augmentant l'adhérence *(fig. 9)*.

C'est pour les roues du matériel d'artillerie que l'on commença à adopter des moyeux en fer forgé et que fut appliqué le procédé de matriçage pour souder les éléments en suivant les dispositions de fabrication des roues de wagons par les méthodes de MM. Deflassieux et Arbel (1).

Parmi les divers moyens employés, signalons que, pour éviter les soudures défectueuses et permettre de chauffer au même degré les différentes parties de la roue, il convient de suivre les conditions suivantes (2) :

La jante est cintrée et soudée à la façon ordinaire; dans son intérieur *(fig. 10)* et correspondant à la position des rayons, des mortaises A sont pratiquées; les rais *(fig. 12)* sont préparés en ménageant à une extrémité un tenon B.

Les pièces sont assemblées *(fig. 11)* à froid en coinçant les extrémités des rais du côté du moyeu constitué par deux blocs cylindriques M. Les rais étant chauffés modérément sur un feu de forge et les blocs portés au blanc soudant dans un four, on place le demi-moyeu inférieur dans une petite matrice, on pose les rais, puis le demi-moyeu supérieur, et on frappe quelques coups de pilon de manière que les rais soient enchassés par moitié dans les blocs qui se soudent en partie.

Puis immédiatement la roue entière est portée à la température soudante dans un four, et soudée définitivement en matrices au pilon.

On peut aussi n'employer qu'un seul bloc pour le moyeu tel que celui M_1 *(fig. 12[a])*.

---

(1) Dès 1861, les forges de Couzon fabriquaient des roues d'artillerie formées d'éléments soudés en matrice.

(2) Brevet Deflassieux, 24 février 1886.

Digitized by Google

Roue mixte en bois et fer.

L'usine Arbel s'est signalée d'une façon toute particulière dans l'établissement de divers modèles de roues dites mixtes pour les véhicules de fatigue tels que les gros camions, les omnibus, les affûts de canons, les voitures régimentaires, etc.

Ces roues comportent un corps de roue en fer forgé *(fig. 13 à 17)* à éléments soudés sous des marteaux-pilons de 10 à 40^t suivant les diamètres. Afin de consolider les bras vers le moyeu, on ménage suffisamment de métal pour former en matrices, des nervures prononcées de raccordement, qui s'étendent jusque vers le milieu de la longueur du rai.

Le corps de roue étant forgé, on pratique sur le pourtour une gorge de forme variable dans laquelle s'ajuste une fausse jante en bois, qui ne peut ainsi se déplacer latéralement *(fig. 14)*.

Cette garniture de bois est maintenue par le bandage posé à chaud et des boulons à tête fraisée assurent une excellente tenue des pièces.

Ajoutons qu'une boîte en fonte ou en bronze complétant le moyeu *(fig. 16)*, est rapportée et qu'elle est, par suite, rechangeable en cas d'usure ou de rupture.

Cette fabrication a réalisé un progrès marqué pour le matériel roulant de l'artillerie, de même que pour les divers véhicules de transport.

Ces roues ont des diamètres atteignant 2^m, présentent l'aspect *figure 25*, avec une épaisseur de jante suffisante pour éviter l'embourbement; la garniture de bois donne une grande élasticité pour résister aux chocs.

M. Arbel a encore combiné une roue dite élastique comprenant une jante rigide indéformable, tandis que le moyeu peut se mouvoir dans le plan de la roue d'une quantité variable avec l'effort supporté, grâce à la flexibilité des rais constitués par des ressorts d'acier.

Digitized by Google

Presse à souder les roues par chauffage électrique.

Tout récemment, la Compagnie des ateliers Niles et Scott a installé une presse avec chauffage électrique pour souder les éléments des roues métalliques.

Le moyeu est constitué par des plaques d'acier de 5 à 6^{mm} d'épaisseur estampées à froid à la presse hydraulique suivant formes *(fig. 18, 19* et *20)*. Le bandage cintré est également soudé à la presse, puis on pratique des trous pour les tenons des rayons dont la section varie depuis 15×8^{mm} jusqu'à 28×26^{mm}.

La presse électrique à souder *(fig. 22)* présente une table munie de traverses sur lesquelles on place le bandage; puis on pose au milieu un demi-moyeu et on engage les rais dans les trous du bandage et dans les évidements du demi-moyeu que l'on recouvre de l'autre pièce correspondante.

Dans le trou central est introduit un mandrin qui maintient toutes les parties. Le courant électrique étant dirigé dans le moyeu, le métal s'échauffe et on fait agir la pression progressivement. La soudure terminée, on rabat toujours à la presse les extrémités des rayons sur le bandage pour former les rivures; puis la roue est mise sur le tour pour enlever les saillies des raies à l'intérieur du moyeu. Le moyeu est ensuite garni d'une boîte en fonte sur laquelle est vissée une manchette de retenue *(fig. 21)*.

Le chauffage exige un courant de 80 kilowatts fourni par un transformateur excité par une dynamo à potentiel de 110 volts.

La presse est munie de quatre transformateurs de 20 kilowatts formant avec les électro-aimants la partie inférieure de l'appareillage électrique; au-dessus de ces transformateurs est placé un anneau en cuivre servant d'appui à la roue. On peut couper facilement la dérivation du transformateur; de plus,

Digitized by Google

un rhéostat commandé par l'opérateur permet de varier le potentiel suivant la section transversale de la pièce à souder.

Le cylindre de presse est fixé à la partie supérieure du bâti. Une roue étant mise en place, on ferme le circuit secondaire dont on relie la partie supérieure avec la pièce supérieure du moyeu, tandis que la partie inférieure est mise en contact avec a pièce inférieure du moyeu. En même temps, on fait descendre le piston hydraulique, puis on ouvre le circuit secondaire au moyen d'un contact qui ferme le circuit primaire. La température du moyeu s'élève alors suffisamment et on la règle pour que la soudure puisse s'opérer par la pression. Le courant est maintenu jusqu'à ce que la soudure soit complète, ce qui exige environ quinze secondes à deux minutes suivant la section du moyeu et avec un courant dont la tension est de 2 à 3 volts, et dont l'intensité varie de 10.000 à 30.000 ampères, soit une puissance d'environ 75 poncelets. Ce procédé peut être appliqué à toutes roues petites et grandes pour véhicules de voies de terre ou de fer.

C'est une des plus intéressantes applications du chauffage électrique se rapportant à des pièces de moyennes dimensions. Les dispositifs auxiliaires sont généralement faciles à installer et ce procédé simplifie singulièrement l'art du forgeron, qui devient ainsi purement mécanique. Le prix de revient pour ce genre de pièce est économique. Il importe de convenablement ménager les épaisseurs, les sections de passage du courant afin que la chauffe se fasse uniformément. Comme d'ailleurs la résistance électrique est plus grande dans les parties moins en contact et dans les plus chaudes (1), lesquelles sont précisément

---

(1) La relation de résistivité avec la température est $R = r_0 (1 + a\theta + b\theta^2)$.

R, résistance à la température θ ; r_0, résistance à 0° centigrade ; θ, temrature en degrés centigrades ; a et b, coefficients numériques.

Pour les métaux : $a = 0,003824$ $b = 0,00000126$.

Avec du fer ou de l'acier doux à 1000° et pour lesquels la résistance en michroms centimètres est $r_0 = 9,636$, on trouve :

Digitized by Google

celles à souder, il s'ensuit qu'elles sont portées à la température soudante plus rapidement que ne le seraient les autres, qui ne présentent pas de solutions de continuité. Le procédé électrique est donc des plus rationnels.

Roue à moyeu seul soudé, procédé Garnier.

Dans cette roue de chariot *(fig. 23)*, les rais sont obtenus par cintrage de barres droites dont les extrémités, renflées, aboutissant au moyeu, sont seules soudées en matrices.

Le bandage présente, sur sa face intérieure, une rainure ou gorge, dont le rebord est de faible hauteur d'un côté ($0^{mm},5$ à 1^{mm}, suivant le diamètre) de manière qu'en portant le bandage à la température du rouge, on puisse emboîter les divers secteurs de la jante, et placer le bandage à la position déterminée.

Les dimensions en diamètre sont réglées de façon que la contraction du bandage, après refroidissement, produit un serrage suffisant pour assurer la solidarité des éléments, qui peuvent, de plus, être assemblés par des rivets, s'il est nécessaire.

Les barres qui constituent les rais sont cintrées avec une machine à couder telle que celle *figure 24*; elles sont laminées suivant profil renflé aux distances qui correspondent à la longueur développée du rai.

$$R = 9{,}935\ (1 + 0{,}003824 \times 1.000 + 0{,}00000126 \times 1.000.000) = 58{,}6,$$

de sorte que, si on considère la chaleur dégagée, $W = \frac{RI^2t}{A}$, on voit qu'à mesure que le fer s'échauffe, la couche qui s'échauffe tend à s'échauffer d'autant plus qu'elle est plus chaude.

La résistance R prend donc une importance favorable à l'opération du soudage.

Des essais que nous avons faits sur le chauffage électrique par les divers procédés d'application, nous ont montré qu'ils pouvaient avantageusement s'appliquer à la plupart des travaux se rapportant aux petites et moyennes pièces forgées en attendant qu'ils le soient aux grosses.

Digitized by Google

Dans la fabrication des roues à bras et jante formés d'éléments repliés, on remplit souvent le vide de deux bras à la jante, par un coin soudé. Cette opération, faite à la main, étant coûteuse, on a été conduit à employer une machine spéciale *(fig. 26)* (1), qui est une frappeuse modifiée, dont le porte-outil H est muni d'une cisaille et d'une forme circulaire correspondant à celle de la jante de la roue A qui se place sur un axe B. Pendant la descente, l'outil coupe le coin G, le descend sur le vide à remplir, le soude par compression énergique et moule une partie de la jante.

Afin d'empêcher le métal de se déplacer latéralement, le coin et la portion de jante chauffée sont maintenus par une traverse D portant aussi la lame d'acier de coupage.

L'axe B peut se déplacer verticalement suivant le diamètre de la roue. Les rais soudés sont maintenus par deux tasseaux PP′ qui pivotent sur leur axe I actionné par leviers, de manière à serrer énergiquement les tasseaux contre les parties à souder.

Il est plus économique d'entourer les rais par un cercle avec coins rapportés et de souder le tout au pilon.

Roues pour voies ferrées.

Les roues pour voies ferrées peuvent se distinguer en roues à rais et en roues pleines.

Le bandage donnant lieu à des procédés de fabrication particuliers indépendants du corps de la roue, nous indiquerons ces procédés après avoir relaté ceux adoptés pour la confection du corps.

Roue mixte.

La roue dite mixte, à moyeu en fonte et rais en fer *(fig. 27)*, encore employée pour les wagons à marchandises, est la

(1) Machine de M. Sayn. Brevet du 20 septembre 1876.

Digitized by Google

première qui donna lieu à l'application des procédés de forgeage des roues.

Les rais sont formés de simples barres plates courbées et coudées à chaud sur mandrin, de manière à obtenir un secteur de jante et des moitiés de rais en épaisseur.

Les divers éléments des rais sont maintenus par des rivets; les extrémités sont encochées et l'ensemble est placé dans le moule du moyeu de manière à assembler les bouts des divers rais en fer, par scellement dans la masse métallique au moment de la coulée.

Le moyeu est fretté de chaque côté pour le consolider; les frettes sont mises à chaud; parfois on se dispense de mettre des frettes.

La jante de la roue est ainsi constituée par les divers secteurs que l'on solidarise ou non au moyen d'un anneau dit *faux-cercle* sur lequel est posé le bandage.

Le faux-cercle est posé à chaud ou à froid avec un certain serrage assurant la rigidité du corps de roue.

L'assemblage du faux-cercle et des secteurs est complété par la pose du bandage et de rivets à tête noyée traversant les trois éléments.

Ces roues, plus ou moins solides, n'ont pas toujours une résistance suffisante pour supporter, sans déformation, les nombreux chocs violents d'une marche à grande vitesse, en heurtant contre les bouts des rails à niveaux différents.

Roues en fer.

Les premiers corps de roues entièrement en fer furent fabriqués par les procédés suivants :

Chaque rai était formé de deux parties que l'on soudait. Les divers rais étaient ensuite disposés à l'intérieur d'une couronne, de manière que les renflements à l'endroit du moyeu étaient fortement serrés sur leurs faces de joint.

On chauffait ces renflements au blanc soudant et la soudure

Digitized by Google

des différentes parties s'opérait dans le foyer, sous la pression développée par la dilatation.

Comme on ajoutait une rondelle supplémentaire de chaque côté des renflements, le soudage de ces rondelles déterminait le martelage général du moyeu et assurait une soudure complète des parties.

Les éléments adjacents des jantes étaient soudés deux à deux par la soudure à lardons ou à coins rapportés.

On conçoit que la préparation des éléments et la multiplicité des soudures exigaient une longue et onéreuse façon.

A l'usine de Seraing, le moyeu était étampé en ménageant une gorge dans laquelle les extrémités des rais étaient engagés. On entourait les autres extrémités, coupées à longueur, par un cercle de tenue.

Le moyeu était porté à la température soudante et les parties étaient soudées au pilon.

La jante était formée d'une bande enroulée en spirale et soudée sur tout son pourtour, constituant ce qu'on appelait alors un cercle sans soudure. Elle était entaillée à l'endroit des rais pour permettre l'emboîtement de ceux-ci, à frottement suffisant pour assurer une tenue convenable.

Chaque rai était ensuite soudé à la jante, soit au marteau, soit dans des étampes de forme appropriée.

On avait soin de ménager du métal en excès pour les congés de raccord, ou bien on rapportait des lardons soudés.

Un procédé mixte encore suivi dans quelques ateliers de construction de locomotives consiste à matricer le moyeu au pilon avec les amorces ou parties des rais *(fig. 28)*. La jante est composée d'autant de fragments qu'il y a de rais, chaque partie de jante est solidaire de l'autre portion de rai correspondant.

Pour obtenir un élément de la jante on part d'un lopin ébauché au pilon, percé en un point déterminé fendu à chaud à la tranche-couteau sur une partie de la hauteur; les deux

Digitized by Google

parties ou branches étant d'abord écartées au moyen d'une chasse-ronde, la partie non fendue, formant l'élément de rai, est engagée dans une matrice ouverte *(fig. 29)* et le pilon achève le rabattement des branches constituant l'élément de jante. Ces opérations se font en une chaude.

Le forgeron met les divers éléments à longueur et termine les extrémités en coin de manière que les parties étant rapprochées, elles laissent des vides pour des coins de soudage.

Les soudures se font une à une en commençant par souder l'un des rais, puis le rai suivant, puis les deux éléments adjacents de la jante (1) et ainsi de suite en ayant soin d'achever complètement et de bien calibrer à mesure de l'avancement du travail.

Il faut des forgerons d'habileté relative, spécialisés, pour faire les roues de locomotives de cette manière ; le prix de revient en est très élevé, les nombreuses soudures sont des points faibles, les jantes se criquent après un certain temps de marche.

Ce procédé tend à se restreindre à des cas particuliers. Aujourd'hui ces roues se façonnent couramment par les moyens mécaniques, par le matriçage et le soudage en matrices.

M. Fraysse, en 1862 (2), appliquait les procédés suivants : la barre formant la jante *(fig. 30)* venait de laminage avec des amorces pour la soudure des bras; coupée à longueur, elle était cintrée, puis soudée. Les rais avaient la forme *figure 31* ; chacun d'eux était soudé à la jante que l'on chauffait, sur un foyer approprié, à l'endroit voulu.

Le jeu laissé entre deux rais adjacents, du côté du moyeu *(fig. 30)*, était rempli par un coin chassé au marteau. Le moyeu était formé de deux blocs cylindriques ou de profil se rapportant à celui de la manivelle. Chauffés au blanc soudant ainsi

(1) Le martelage de la soudure de ces éléments se fait avantageusement au moyen de dispositions particulières comprenant une enclume et un petit marteau mécanique à tige horizontale, frappant vivement.

(2) *Portefeuille des Machines*, janvier 1862.

Digitized by Google

que les rais, les trois pièces étaient soudées au marteau-pilon dans des matrices.

Les *figures 32* indiquent une disposition des rais pour roues de wagons. Chaque rai est formé d'une barre pliée, soudée au pli et laissant un vide entre les deux branches. La *figure 33* indique la tenue du rai au moment du soudage.

Un autre procédé consistait à prendre une barre de longueur égale à la moitié du développement de la jante, à souder les rais avec la barre; puis à courber à chaud de manière à rapprocher les différentes parties des rais formant le moyeu.

Deux demi-roues, ainsi composées, étaient soudées à la jante, bien calibrées, puis le moyeu était soudé à son tour au pilon.

Pour les roues des locomotives comportant une manivelle et un renflement ou contrepoids à la jante, on ménageait aux extrémités des rais correspondants le métal suffisant, et ces masses se soudaient entre elles par un martelage énergique donnant lieu à des déformations plus ou moins prononcées qu'il fallait régulariser. Souvent ces masses présentaient des défauts de soudure, il fallait ressouder des lardons; le chauffage était très difficile sur un feu de forge, les rais brûlaient alors que la masse n'était pas suffisamment chauffée. Il fallait une attention soutenue de la part du forgeron et de grands soins.

Roues soudées en matrices.

Le procédé de M. Deflassieux perfectionné par M. Arbel est aujourd'hui le plus employé, soit pour la confection des roues de wagons, soit pour les roues de locomotives comportant ou non des manivelles et contrepoids.

L'adoption de ce procédé, qui se caractérise par le soudage en matrices, au marteau-pilon, de tous les éléments du corps de roue assemblés, a réalisé un grand progrès. Il a permis d'opérer rapidement, de mieux assurer la perfection des soudures, l'homogénéité des parties et la résistance de la roue;

Digitized by Google

il a simplifié, particulièrement, l'exécution des manivelles et des masses formant contrepoids.

Ce sont, surtout, les perfectionnements successifs apportés par M. Arbel, dans la préparation des éléments et la combinaison des matrices, qui ont rendu le procédé de M. Deflassieux applicable, dans de bonnes conditions, à tous les types de roues de wagons ou de machines.

La jante est formée d'une barre droite cintrée dont les abouts sont soudés par les moyens simples ordinaires; le chauffage se fait en maintenant la pièce avec un étrier, muni de deux vis qui permettent de développer une pression énergique et de souder les abouts par compression dans le foyer même, puis on complète la soudure par un martelage sur l'enclume.

On pratique à l'intérieur de la jante des mortaises disposées pour recevoir les extrémités des rais présentant des tenons convenables, ainsi qu'il a été indiqué précédemment pour une roue de voie de terre.

De l'autre côte, les rais ont leurs extrémités renflées pour former la partie centrale du moyeu. On assemble les rais et la jante, puis un plateau de moyeu chauffé à blanc est engagé sur une face; un deuxième plateau étant, de même, engagé sur l'autre face et les parties étant bien ligaturées, le tout est porté au four voisin du pilon pour le chauffage au blanc soudant, ce qui exige une durée variant de 30 minutes pour les petites et 60 minutes et plus pour les grandes roues.

L'ensemble est alors placé dans une matrice solidaire de la chabotte d'un pilon *(fig. 1* et *2, pl. 8)* de type Arbel et reçoit l'action du marteau par l'intermédiaire de la deuxième matrice fixée sur le marteau. Quelques coups de pilon et une ou deux chaudes suffisent, en général, pour l'obtention d'une soudure complète de tous les éléments. Afin de déterminer une compression dans le sens de la longueur des rais, on a soin de les tenir avec un excès de longueur, ce qui, aussi, donne une certaine *écuanteur* à la roue. On assure ainsi une bonne sou-

Digitized by Google

dure des rais avec la jante. Les chocs du marteau donnant lieu à un faible déplacement, les efforts sont très grands; une fondation très élastique s'est imposée dans le modèle de pilon adopté à l'usine Couzon.

La matrice inférieure est munie d'une frette solide en acier empêchant toute déformation, présentant une grande résistance aux efforts horizontaux de compression du métal énergiquement refoulé dans tous les sens, et particulièrement dans la masse du moyeu, par les deux tampons qui forment le trou et soudent cette partie.

Les roues matricées par cette méthode *(fig. 3)* ont des surfaces nettes, des formes régulières; le métal ayant été énergiquement comprimé est très serré; il résiste dans d'excellentes conditions aux épreuves que la roue doit subir. Les roues à manivelles *(fig. 4)* ont le moyeu et le contrepoids préparé au pilon avec des amorces de bras.

L'excès de métal qu'il convient de laisser pour le matriçage se retrouve sous forme de bavures que l'on enlève aisément; puis, la roue est recuite au four pour faire disparaître les tensions intérieures anormales. MM. Arbel, dans leurs forges de Couzon, façonnent des roues de locomotives de plus de 2^{m} de diamètre (1), pesant près de 2.000^{kg} avec un pilon de 40^{t}. La perfection de l'outillage de ces forges permet de matricer pour l'artillerie de marine, des roues de 1^{m} de diamètre ne pesant que 36^{kg}. M. Arbel s'est appliqué d'une façon toute spéciale à l'étude des roues du matériel d'artillerie, et c'est grâce à son initiative que les roues entièrement en fer forgé tendent à remplacer les anciennes roues en bois.

L'outillage des forges de Couzon comprend comme moyens de production : un marteau-pilon de 40.000^{kg}, un de 35.000, un de 20.000, deux de 10.000, un de 8.000, un de 4.000, un de 3.000, un de 600^{kg}.

(1) Les plus grandes roues des locomotives actuelles ont un diamètre de $2^{m},30$.

Digitized by Google

En marche normale, le nombre des ouvriers est d'environ quatre cents.

Ces forges produisent annuellement plus de :

2.000	roues de machines pesant environ . . .		1.500.000kg
2.000	—	de tenders	800.000kg
10.000	—	de wagons	1.200.000kg
10.000	—	de camions, affûts, etc.	200.000kg
soit plus de 24.000 roues pesant environ . . .			3.700.000kg

Ces chiffres montrent bien toute l'importance de cette fabrication, qui exige des précautions particulières pour le soudage. Il faut des fours disposés de manière à concentrer la chaleur sur les parties les plus massives, pour ne pas brûler les parties peu épaisses. La conduite du four et du travail, les dispositions des matrices et du marteau exercent une grande influence sur la réussite des opérations.

Dès 1875, M. Arbel installait des fours à gaz système Siemens et plus tard des fosses à recuire analogues aux puits Gjers. Actuellement, différentes forges fabriquent les roues en matrices; mais l'usine de M. Arbel est incontestablement celle où ont été réalisés le plus de perfectionnements, portant sur la facilité, la rapidité d'exécution, la simplification du matériel et de l'outillage.

L'adoption des roues matricées, si nettes de surface et plus solides que celles soudées par les moyens ordinaires, a marqué un progrès important de l'industrie des chemins de fer. M. Arbel a le grand mérite d'avoir été le principal propagateur de ces roues et d'en avoir constamment amélioré la fabrication.

Roues à rais en fer courbé.

Au lieu de former les rais, chacun d'une barre simplement soudée par son about avec la jante, on a été amené à les constituer par des barres plates, ou de sections semi-elliptique, que

Digitized by Google

l'on cintre avec rayon de courbure voulu pour permettre leur emboîtement par un faux cercle formant la jante.

Les parties droites des rais ont leurs extrémités soudées avec le moyeu.

C'est ainsi que, vers 1860, MM. Russery et Lacombe, à Rive-de-Gier, fabriquaient des roues dont le moyeu en fer était composé de deux blocs obtenus par l'enroulement en spirale d'une bande de fer plat. L'un des blocs était d'abord soudé, ébauché au pilon et présentait des mortaises de hauteur égale à la hauteur des rais. L'autre bloc était aussi soudé et ébauché; puis l'ensemble des rais et des blocs de moyeu étant porté au blanc soudant, les éléments étaient soudés en matrices.

Roues des forges de Lorette (Loire) (1).

Ces roues comportent des rais constitués par des fers à section semi-elliptique coupés de longueur déterminée, cintrés et repliés de manière que, placés à l'intérieur de la jante, ils se trouvent en contact par leur face plane *(fig. 7)*.

Le cintrage des rais se fait à chaud sur mandrin avec une machine spécale.

La jante est formée d'un fer en ⊔ cintré à froid; les abouts sont soudés grossièrement *(fig. 5)*.

Le moyeu est constitué par deux blocs ronds d'épaisseur égale *(fig. 8)*.

Les rais sont placés dans la jante, et dans les petits vides on engage des coins de soudage, puis les éléments sont disposés dans une couronne solide sur une matrice *(fig. 9 et 10)*.

L'un des blocs du moyeu, chauffé au blanc soudant, est enfoncé à mi-hauteur des bras. La pièce étant vivement retournée, le deuxième bloc est présenté et enfoncé jusqu'au contact de l'autre *(fig. 8)*. La roue ainsi préparée est chauffée au blanc soudant dans un four, pour être soudée en matrices en une

(1) *Bulletin technologique* 1885. Note de M. Salmon.

Digitized by Google

seule chaude par un pilon dont la puissance varie avec les dimensions de la roue. Pour les roues ordinaires jusqu'au diamètre $1^m,200$, on emploie un marteau de 25^t dont la chabotte d'une seule pièce pèse 90^t.

Ce procédé de fabrication est de M. Garnier (1882); il est appliqué aux forges de Lorette depuis 1883. Dans ces roues, les fibres des rais et de la jante se soudant sur un grand développement, les éléments forment avec le moyeu un tout bien lié et solide.

Les roues Garnier se fabriquent à toutes dimensions et pour tous véhicules.

S'il s'agit d'une roue motrice de locomotive, le moyeu et la manivelle sont encore constitués par des moitiés de blocs appropriés que l'on enfonce sur les bras, puis le contrepoids est paqueté avec des riblons en coins posés très chauds entre les rais correspondants. La roue est alors chauffée, puis soudée en matrices en une ou deux chaudes suivant le diamètre.

Les roues jusqu'à $1^m,60$ de diamètre se soudent en deux chaudes avec un pilon de 25^t.

Les forges de Lorette exécutent aussi des roues Garnier pour véhicules ordinaires, avec jante non soudée aux rais. Dans ce cas, la jante est formée d'une barre cintrée soudée soigneusement, ou bien elle est formée d'un anneau sans soudure laminé. Les bras préparés comme pour les autres roues sont placés à l'intérieur de la jante, celle-ci chauffée au rouge. On se dispense de mettre des coins de soudage. Avant le refroidissement complet de la jante, les blocs du moyeu sont engagés sur les bras et soudés immédiatement en matrices sous un petit pilon. Le serrage énergique dû au retrait de la jante et la rigidité des rais déterminent une adhérence suffisante pour assurer la solidarité sans recourir à des moyens auxiliaires.

Le procédé des forges de Lorette permet d'employer à la confection des rais des échantillons de fer de forme voulue, sans renflements nécessitant un laminage profilé en longueur

Digitized by Google

et présentant un certain assujettissement pour le découpage de ces barres.

Les extrémités des rais sont aussi plus facilement ajustables et on se dispense de l'emploi de cales de serrage.

Il faut reconnaître, cependant, que l'emploi de cales et d'extrémités de rais convenablement assujetties avant la mise en place des plateaux de moyeu, constitue une plus grande sûreté pour la tenue et pour la soudure des éléments du moyeu.

Une variante de la disposition et du cintrage des rais est celle *figure 13*.

Chaque rai est découpé dans une barre laminée avec renflements.

L'épaisseur du rai est simple, c'est-à-dire qu'elle est égale à l'épaisseur de la barre, de sorte que le coude-cintré ne se fait que d'un seul côté et correspond à l'écartement de deux rais consécutifs.

Chaque élément est placé dans un cercle de tenue de manière que toutes les parties soient convenablement serrées en y ajoutant des coins aux solutions de continuité de la jante.

Les surépaisseurs du moyeu sont chauffées en même temps que les bouts des rais de façon à souder ces parties au pilon. Les rais étant maintenus du côté du cercle extérieur non chauffés, les joints se soudent bien. Le moyeu étant soudé, chaque coin de la jante est soudé à son tour, et on a soin de ménager du métal pour former le congé de raccord non cintré.

Les *figures 14* à *51* représentent divers procédés perfectionnés de fabrication des roues à rayons simples et à rayons doubles (1).

L'ensemble des opérations se divise comme suit : 1° fabrication des moyeux; 2° confection des bras ou rayons; 3° fabrication de la jante; 4° montage de la roue; 5° soudage des éléments en matrices.

(1) Procédés de M. Minot. Brevet du 9 avril 1889.

Digitized by Google

Fabrication des moyeux.

Ils sont obtenus en jetant sur la sole d'un four des mitrailles et de la tournure de fer qui sont ensuite cinglées au pilon, pour en former un lopin qui a la forme ébauchée d'un moyeu.

Le lopin est ensuite remis au four, puis il est martelé de nouveau au pilon dans une matrice inférieure en acier qui lui donne sa forme définitive.

Les *figures 14* à *17* montrent les matrices en fonte et en acier; celle inférieure est à circulation d'eau afin d'éviter l'excès d'échauffement resultant d'un grand nombre d'opérations successives, ce qui assure une plus longue durée à cet outil.

Les *figures 18* et *19* sont les moyeux : le premier, pour roues à rayons simples; l'autre est pour les roues à rayons doubles. Ces deux moyeux diffèrent peu.

Il est à remarquer que l'embase du moyeu, au lieu d'être horizontale, est inclinée à environ 45°. Cette inclinaison correspond à une forme particulière que prendront les extrémités matricées des rayons. Cette disposition est de grande importance au point de vue de la bonne exécution.

Fabrication des rais.

Pour les roues à rais simples comme pour celles à rais doubles, ces éléments sont formés de barres de fer laminées suivant les profils *(fig. 20* à *23).* La *figure 20* est le bout d'une barre pour rais doubles ; la section croît du milieu aux extrémités terminées par des bossages ; les sections croissantes ne sont nécessaires que pour le cas où l'on veut donner de la conicité aux rayons.

Les *figures 22* et *23* se rapportent aux extrémités d'une barre pour roue à rais simples ; ce profil spécial est coupé en biais d'un côté et possède une saillie équivalente de l'autre côté.

Comme le montrent les figures, les deux bouts ne sont pas

Digitized by Google

identiques : pour une saillie à un bout, c'est une coupure en biais du même côté à l'autre extrémité.

Ces barres subissent deux préparations :

Le croquage et le matriçage des bouts.

Le cintrage de la partie qui doit former la jante.

Les premières se font dans une paire de matrices en acier (*fig. 27* et *28*) ; la *figure 27* est la disposition des matrices pour rais simples ; celle de la *figure 28* sert pour les rais doubles.

Pour effectuer ces opérations, les barres sont d'abord chauffées, puis on les engage une à une sous les matrices qui doivent les façonner ; on engage d'abord une extrémité dans une encoche, on pilonne cette extrémité ; on pousse ensuite la barre de manière à placer l'autre extrémité dans l'autre encoche ; en même temps, l'extrémité d'une seconde barre est engagée dans la première encoche, on pilonne de nouveau, et on croque ainsi en matrices deux bouts en même temps.

La *figure 29* représente les extrémités des rais simples ; la *figure 30* se rapporte aux rais doubles.

Le congé formé à chacune des extrémités et qui n'existe que d'un seul côté correspond à l'embase du moyeu ; il a pour but d'assurer des soudures complètes, des raccords bien fournis.

Le cintrage des rais se fait à l'aide d'une machine ordinaire comprenant un mandrin en fonte, en forme de cœur, sur lequel un galet applique la barre à cintrer.

Le cintrage se fait immédiatement après le croquage et matriçage des bouts, alors que la barre est encore assez chaude.

Fabrication de la jante.

La jante est formée d'une bande laminée avec bossages équidistants destinés à remplir le vide laissé entre les congés des rais et la jante. La barre est cintrée sur mandrin circulaire en fonte, portant des encoches correspondant aux bossages, et au moyen d'un galet monté sur un levier qui applique la barre contre le mandrin. On procède ensuite au soudage du cercle

Digitized by Google

de jante, en chauffant dans une forge au coke, à chapeau, et en opérant en matrices au pilon.

Montage de la roue.

Le montage de la roue se fait dans une coquille en fonte de hauteur convenable avec entrée conique, *figure 31* pour rais simples, *figure 32* pour rais doubles.

La conicité permet de faire entrer dans la coquille un cercle de jante plus ou moins circulaire.

Les rais sont placés en emboîtant les bossages et sont calés vers le centre par des coins, *figure 25* pour rais simples, *figure 24* pour rais doubles.

Ces cales sont coupées en biais d'un côté pour bien correspondre au congé des bouts de rais et à l'inclinaison de l'embase du moyeu.

Soudage de la roue en matrice.

On commence d'abord par chauffer le moyeu. Pour cela, on le place debout sur la sole d'un four à réchauffer, le gros bout en haut pour faciliter le chauffage régulier. Lorsqu'il est chaud, on le retourne et on le place au centre du four.

La roue montée à froid est prise alors avec une tenaille de forme spéciale pour la mettre au four à l'entour du moyeu.

La *figure 33* est la tenaille pour roue à rais simple, la *figure 34* est celle pour roue à rais doubles, les *figures 36* à *38* sont des coupes auxiliaires.

Les tenailles à griffes facilitent la mise de la roue autour du moyeu dans le four lorsque le moyeu est déjà chaud; cela empêche de brûler les rais, ce qui arriverait si l'on plaçait à froid et en même temps dans le four le moyeu et les autres parties de la roue.

La masse du moyeu nécessitant un temps plus long pour être chauffé, il en résulterait que les bras et la jante seraient au blanc soudant avant le moyeu.

Digitized by Google

La roue étant suffisamment chauffée, est retirée au moyen de la tenaille en la prenant par le moyeu, pour la porter au marteau-pilon où elle est soudée en matrices.

Pour faciliter la mise en place de la roue dans la matrice, la tenaille est pourvue, à l'extrémité opposée aux branches, d'une espèce de fourche qui prend un guide fixé à la matrice inférieure; à l'opposé de cette fourche, du côté des branches, se trouve une ouverture avec entrée conique *(fig. 36)* qui embrasse un autre guide fixé à la matrice, ce qui assure la mise en position convenablement et rapidement.

Quelques coups de pilon soudent tous les éléments, puis la roue est soulevée en donnant un coup de marteau sur la cale qui se trouve en dessous du pivot de la matrice; la roue est soulevée avec la tenaille qui la saisit par les griffes, et on place une rondelle sous le moyeu pour ensuite la remettre en place et percer la bavure ou voile avec un poinçon.

Les *figures 39* à *42* représentent les matrices pour roues à rais simples; celles *figures 43* à *46* se rapportent aux roues à rais doubles.

On procède ensuite à l'ébarbage de la roue, au moyen d'un emporte-pièce guidé par les guides de la matrice inférieure.

Enfin, la roue est soulevée de la matrice et placée sur un pivot horizontal, pour la faire tourner facilement, afin de râper le restant des bavures.

Les dispositions adoptées pour l'embase du moyeu et les congés de raccord évitent des manques de métal à la naissance des rais, empêchent le rai de s'écraser par suite d'un chauffage plus ou moins régulier dû à ce que le fer laminé des rais est plus tendre au feu que le fer martelé des moyeux.

Les *figures 47* à *50* représentent les roues achevées.

L'exécution de ces roues est facilitée en employant pour le fer de la jante une simple barre de fer plat et en adoptant pour rais une barre laminée suivant le profil *figure 51*.

Digitized by Google

Le bossage à l'endroit du coude est tel que le vide ordinairement rempli par un coin n'existe pas.

On évite ainsi les renflements de la jante qui rendent plus difficiles l'ajustage précis des éléments, le cintrage et le soudage de la jante pour obtenir un écartement exact des divers renflements. Ces procédés de fabrication s'appliquent également aux roues de locomotives, à manivelles et contrepoids.

S'il s'agit d'une roue motrice de locomotive, les éléments ébauchés *(fig. 6 à 25, pl. 9)* sont assemblés dans l'ordre suivant (1) :

Les pièces B des rais en forme d'U sont disposées *(fig. 1* et *2)* dans un anneau provisoire. Les pièces D constituant le moyeu et la manivelle sont pourvues d'une série de cavités rayonnantes en correspondance avec les rais; des ergots situés sur le prolongement des cavités font saillie sur les bords de chaque partie formant le moyeu; ces saillies s'étendent au-dessus des rais, de telle sorte que, lorsque la roue est soudée, chacune d'elles forme une nervure donnant de la force et du fini à la roue.

On place des cales de remplissage E de forme *figure 18* à *20*, munies de têtes recouvrant partiellement les rais et la jante. Les pièces de contrepoids F présentent les dispositions *figures 1*, *14* et *15*. Elles sont rivées sur les rais pour assurer leur tenue. Les différentes pièces étant assemblées, on chauffe la jante A *(fig. 6)* et l'anneau provisoire étant enlevé, on place la jante qui en se refroidissant développe un certain serrage sur l'ensemble. On introduit alors des goujons traversant la jante et les rais percés de trous correspondants, puis la carcasse est portée au four. Enlevée et placée après le chauffage au blanc soudant entre des matrices *(fig. 26* à *29)*, elle est soudée au marteau ou à la presse. La matrice supérieure est guidée par des tiges fixées sur la matrice inférieure; elle est reliée sans rigidité à la tige du pilon ou de la presse de manière à per-

(1) Procédés Vauclain. Brevet du 3 novembre 1891.

Digitized by Google

mettre la correspondance exacte des deux matrices. Celles-ci sont réglées de façon à ne pas venir en contact l'une avec l'autre, le métal en excès formant une bavure mince sur tous les bords, ce qui assure un soudage plus parfait et une meilleure exécution. Le métal du trou du moyeu étant fortement repoussé, les recoins de la pièce sont bien remplis.

Les matrices pour former les éléments des roues sont représentées *figures 30* à *39*.

Au lieu d'employer le pilon pour le soudage et le matriçage d'une roue, on conçoit que l'effort peut être produit par une presse assez forte pour développer des compressions suffisantes dans tous les sens et assurer de bonnes soudures.

Il suffit de se reporter au procédé Brunon indiqué dans la première partie (1).

Citons également les dispositions *(fig. 40* et *41)*(2) se rapportant à la liaison des rais d'une roue avec un cylindre métallique formant moyeu refoulé, comprimé en matrices de manière à emprisonner, à sceller les extrémités des bras présentant des encoches.

La *figure 40* montre la position des matrices au moment où le bloc M vient d'être engagé, étant chauffé au blanc soudant; les rais étant au rouge sombre.

La *figure 41* montre les matrices C et D rapprochées par pression hydraulique, et le plongeur G refoulant le métal dans les vides autour des rais qui se trouvent emboîtés solidement et, pour ainsi dire, soudés, sous une pression de 400.000^{kg} donnée par un accumulateur.

Les roues à rais doubles sont à la fois solides et suffisamment élastiques pour ménager leur bandage et la voie, mais les défauts de leur fabrication se sont, pendant longtemps, opposés à leur adoption.

Avec le procédé Brunon, on obtient ces roues dans de bonnes conditions.

---

(1) Le brevet Brunon date du 9 mars 1876.

(2) Procédé Owen and Dyson. *Engineering*, 28 janvier 1881.

Digitized by Google

Les opérations d'exécution sont les suivantes :

Couper à longueur des barres droites laminées à section lenticulaire et sur épaisseur dans la partie cintrée *(fig. 42)*.

Couder et cintrer les éléments, au rouge cerise, à l'aide d'une machine spéciale, pour leur donner la forme *figure 43*.

Cisailler les extrémités suivant des plans inclinés symétriques de façon à pouvoir assembler les éléments de la roue comme l'indique la *figure 44*, dans une couronne.

Porter les éléments de roue, ainsi groupés sur un four au coke, qui ne chauffe que la partie comprise dans le cercle pointillé.

Chauffer au rouge blanc le moyeu *(fig. 45)* obtenu par matriçage au pilon : ce moyeu est en fer de riblons.

Placer le moyeu, au blanc soudant, au centre de la roue et porter l'ensemble entre deux matrices fortement pressées sur la roue; puis refouler le moyeu au moyen d'un poinçon actionné par une pression hydraulique de 500^t, soit 20^{kg} environ par millimètre carré. En pénétrant dans le moyeu, l'outil refoule le métal et le soude à celui des rais; les *figures 48* et *49* indiquent les dispositions de la presse Brunon pour roues.

Les éléments de la jante sont ensuite soudés, au moyen de coins pressés par un balancier à friction qui donne une soudure rapide et homogène. Les moyeux de ces roues présentent une solidité exceptionnelle.

On fabrique, par des opérations analogues, des roues à rais simples dont les éléments de jante *(fig. 47)* sont d'abord droits. Après la formation du moyeu, les bras et les parties de la jante sont soudés, et on donne la forme circulaire à cette dernière.

Roues à centre plein.

Ces roues sont à toile plane ou ondulée *(fig. 1, 2 et 3, pl. 10)*. La première roue pleine en fer forgé fut fabriquée en Allemagne dans l'usine Hermannshütte, à Hœrde (Westphalie), par Daelen

Digitized by Google

(1850), qui essaya d'abord de produire ces roues au laminoir à deux galets coniques.

Daelen abandonna ce procédé pour s'en tenir à celui de matriçage combiné avec un laminage partiel finisseur de l'ébauche.

Un paquet carré de bon fer à grain bien soudant est formé *(fig. 4)* de dix à douze mises placées en croix et composées chacune de trois fortes barres d'ébauché; deux couvertes complétant le paquet ont pour but de maintenir les mises et d'obtenir une surface exempte de fissures ou lignes de soudure.

Le paquet est chauffé, puis soudé au pilon de 3t. On en forme un octogone, puis un cylindre étampé ou galette qui est réchauffée au blanc soudant et placée entre les matrices *(fig. 5)* disposées sous un pilon de 5t.

En quelques coups de pilon, la galette prend la forme du moyeu.

Enlevée, elle est régularisée et amincie entre les cylindres d'un laminoir *(fig. 7)* par plusieurs passages (une quinzaine), en ayant soin de la faire tourner d'un quart de tour à chaque passage. La pression des cylindres ne s'exerce que sur le limbe ou toile. A la sortie du laminoir (au rouge), le plateau est ondulé dans des matrices *(fig. 6)*. Pendant le martelage, la matrice supérieure pivote au moyen de leviers qui s'engagent dans les oreilles et par manœuvre à la main.

Quelques coups de pilon suffisent pour matricer le plateau.

Pour le perçage du moyeu, on introduit dans le trou de la matrice supérieure, à frottement doux, un poinçon dont la sous-étampe est rapportée dans la matrice inférieure *(fig. 6)*; le marteau chasse le poinçon à travers le moyeu en formant une débouchure qui tombe dans le vide ménagé au-dessous. Remarquons que la matrice inférieure est frettée, qu'elle présente une rainure destinée à recevoir les battitures qui se détachent sous les coups du marteau.

Le plateau est ensuite mis au diamètre voulu par une cisaille,

Digitized by Google

puis assemblé avec la jante *(fig. 9)* qui est cintrée à chaud avec une machine à levier et galet sur mandrin *(fig. 10)*, et dont les deux abouts sont soudés en même temps que les autres parties.

Un petit cercle additionnel est placé du côté où se fait l'emboîtement. Les pièces sont de plus maintenues par trois rivets.

Le soudage de ces éléments est le point délicat. L'opération se fait en matrices *(fig. 8)* au pilon de 5ᵗ en cinq ou six coups.

La roue est dégagée par le bonhomme actionné par levier.

On a soin d'arroser la roue à la fin de l'opération, pour la parer, en détacher les battitures. La roue est ensuite ébarbée et portée au four à recuire.

Une variante de la fabrication d'une roue pleine par matriçage consiste à la constituer d'un seul bloc avec un paquet de riblons.

On lui donne la forme d'un disque que l'on réchauffe à plusieurs reprises pour dégager en matrices successives le moyeu et la jante comme l'indiquent les *figures 12* à *15*.

Ou encore, si la roue comprend plusieurs parties soudées, ces parties sont : un moyeu avec portion d'âme *(fig. 16* et *17)*.

Une bande plate soudée *(fig. 18)*, une bande soudée de champ *(fig. 19)* pour former la jante.

Les trois sont soudées en matrices.

On peut aussi préparer un disque *(fig. 20)*, deux portions de moyeu *(fig. 21)* et la jante *(fig. 19)*.

Le tout est soudé en matrices *(fig. 22)*, au pilon ou à la presse.

La roue à toile ondulée *(fig. 23)* (1) est obtenue au moyen d'un lingot forgé ou laminé auquel on donne à peu près la forme définitive. Celle-ci est produite dans une chaude supplémentaire, à la presse. Il faut des pressions énergiques agissant sur toutes les parties de la roue. A cet effet, la matrice inférieure

(1) Procédé Pearson. Brevet du 7 avril 1891.

Digitized by Google

est constituée par des segments à déplacement radial. Chaque segment est actionné par un piston hydraulique horizontal *(fig. 24, 25 et 26)*; les divers pistons reçoivent simultanément la pression d'eau lorsque le piston vertical muni de la matrice supérieure agit aussi.

Le matriçage détermine des bavures que l'on découpe après recuit.

Roue à toile (procédé de MM. Arbel).

Dans le procédé de MM. Arbel, le moyeu est constitué par deux rondelles, chacune formée d'une barre de 110/60 × 600, enroulée sur mandrin conique à chaud et sur étampe *(fig. 29)*.

La toile est un disque découpé dans une tôle de 20^{mm} d'épaisseur; on poinçonne trois trous *(fig. 27)*; le trou central correspond à celui du moyeu, les deux autres servent à faciliter le chauffage pour souder la roue et permettent l'amoncellement des battitures pendant le martelage.

La jante est formée d'une barre nervurée *(fig. 28)*, cintrée et soudée comme il a été indiqué déjà.

On dispose la toile sur la nervure de la jante; de même les moyeux sont mis en place en interposant trois cales entre la toile et le demi-moyeu supérieur, ce qui a également pour objet de faciliter le dégagement des battitures.

Le soudage des éléments se fait en deux chaudes dans des matrices *(fig. 30)* par un pilon de 15^{t} frappant cinq ou six coups. On a soin de retourner la roue à la deuxième opération pour corriger les inégalités d'épaisseur qui sont peu accusées dans la toile par suite de l'emploi d'un disque en tôle. Le poids des éléments comporte par exemple : moyeu 40^{kg}, disque 75^{kg}, jante 130^{kg}, total 245^{kg}.

La roue achevée pèse 230^{kg}.

Procédés des Aciéries de Saint-Étienne.

Le procédé adopté par les Aciéries de Saint-Étienne consiste à forger le moyeu et la toile avec un paquet *(fig. 31)* composé

Digitized by Google

d'une mise annulaire servant de base à quatre mises de largets de 20^{mm} d'épaisseur sur 100^{m} de largeur, découpés et croisés de manière à constituer un paquet à pourtour cylindrique avec trou au centre.

Le diamètre extérieur est de $0^{m},500$ que le soudage en une chaude en matrices *(fig. 34)* porte à $0^{m},750$, en donnant au pourtour la forme *(fig. 33)*; les rebords ménagés sont destinés à fournir du métal pour les soudures et les congés.

La jante étant cintrée et soudée, la toile est placée à l'intérieur *(fig. 32)*. Si le rebord supérieur de la toile n'est pas bien venu, on ajoute des tournures pour le manque de métal.

Le soudage se fait en deux chaudes au marteau de 15^{t} (matrices *fig. 35*). Chaque opération comporte une trentaine de coups de marteau.

Le poids des ébauches s'élevant pour un type de roue à 215^{kg}, la roue achevée pèse environ 185^{kg}. On peut matricer 40 roues en douze heures par pilon.

Procédé à toile secteurée (1).

Ce procédé est caractérisé par la constitution de la toile au moyen d'un certain nombre de secteurs en tôle découpés dans des plates-bandes de largeur convenable *(fig. 1, pl. 11)*. Dans le sens du rayon, les bords des secteurs sont amorcés pour former des soudures à recouvrement. Ces amorces s'exécutent en matrices *(fig. 2)*, en ayant soin préalablement d'arrondir en étampes *(fig. 3)* le bord circulaire extérieur. Ces opérations se font en une chaude.

La jante est formée d'une barre nervurée *(fig. 4)* cintrée à la machine à rouleaux ou autre, puis soudée sur feu de forge spéciale.

Le moyeu est composé de deux bagues; le demi-moyeu

(1) Procédé de la Compagnie des hauts fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer, à Rive-de-Gier; brevet 1884. *Bulletin technologique,* octobre 1885. Note de M. Dorgeot.

Digitized by Google

inférieur *(fig. 4)* est de forme tronconique à rebord du côté de la grande base, de manière à pouvoir se placer et se tenir sur les secteurs disposés en cône dans l'intérieur de la jante.

Ce demi-moyeu est obtenu par l'envirolage d'une barre que l'on soude tout en formant le rebord dans des matrices *(fig. 6)*, dont le tampon central régularise le trou. La face inférieure de ce demi-moyeu est circulaire, la face supérieure est octogonale pour correspondre aux côtés des huit secteurs formant la toile *(fig. 5)*.

Le demi-moyeu supérieur est une virole simplement posée sur le précédent.

L'ensemble étant porté à la température du blanc est soudé en matrices *(fig. 8* et *9)*, qui s'emboîtent partiellement pour éviter la formation des bavures sur les bords.

Il convient d'opérer en trois chaudes plutôt qu'en deux, en ne portant pas à une température excessive, afin de ne pas surchauffer la toile dont l'épaisseur réduite comparativement à celles du moyeu et de la jante rend le chauffage uniforme difficile. Il serait avantageux d'employer, pour faciliter les soudures et la chauffe, de la poudre à souder de composition spéciale.

Après chaque martelage, on a soin, quand le moyeu est symétrique, de retourner la roue face pour face. La roue à toile ondulée *(fig. 10)* se matrice dans les mêmes conditions et directement dans les matrices soudantes qui sont en même temps finisseuses.

Roues pleines nervurées.

Dans leur nouvelle fabrication des roues pleines nervurées (1), MM. Arbel ont remplacé les fers à section elliptique ou rectangulaire qui occasionnaient l'adhérence de la roue dans la matrice inférieure, par des fers à section en V plein, section ayant le double avantage de faciliter la sortie de la roue de la matrice

(1) Brevet du 11 février 1891.

Digitized by Google

par sa grande dépouille, et de présenter une large surface pour la soudure du disque sur les rais.

Le moyeu n'est plus exclusivement compris dans la matrice inférieure *(fig. 14)*, il se trouve réparti entre les deux matrices *(fig. 11* et *12)*.

Les opérations successives comprennent :

Préparation du paquet de la roue à rayons.

La jante est constituée par une barre de fer suivant profil *(fig. 17* et *22)*, cintrée au diamètre voulu et soudée. Le moyeu est formé par une première rondelle de fer brut à empreintes *(fig. 18* et *19)*, de façon à enfermer complètement l'extrémité des rayons et représentant la presque totalité du moyeu ; une deuxième rondelle sans empreintes *(fig. 20* et *21)* ou un simple paquet de fer brut complète le moyeu.

Les rais sont des barres de fer laminé de longueur voulue, suivant profil *(fig. 16)*. L'extrémité de ces rais qui doit s'appuyer sur la jante *(fig. 22)* reçoit un refoulage pour faire empâtement destiné à favoriser la soudure à la jante.

Le montage de ces divers éléments est indiqué *figures 22* et *23*. Après le chauffage de la roue, saisie dans le four au moyen de tenailles, elle est portée sous le marteau-pilon dans une matrice inférieure fixe, où elle subit la pression par les coups répétés d'une matrice supérieure fixée au mouton du pilon.

Elle se présente alors *(fig. 24* et *25)* sous la forme d'une roue à wagons dont on aurait enlevé au tour la moitié de la largeur des rayons et de la jante, de façon à les avoir tous sur un même plan, ne laissant en saillie qu'une faible partie du moyeu qui sert à centrer et à retenir le disque dans les manipulations de la deuxième chaude et du martelage.

Soudage du disque.

Le disque, constitué par une tôle d'épaisseur variable en fer ou en acier doux *(fig. 30* et *31)* est placée sur la roue *(fig. 27*

Digitized by Google

et *28)* que l'on porte de nouveau au blanc soudant pour souder le disque sur les rayons, la jante et le moyeu, dans les matrices employées pour le premier forgeage.

Il est à remarquer que les bavures de la roue sont utilisées pour servir d'amorces à la soudure du disque et assurer une bonne venue. La roue est ensuite recuite et portée au finissage.

Au lieu d'employer un disque pour la paroi pleine, on préfère la former de secteurs de forme convenable, ce qui évite, surtout pour les roues de grand diamètre, les déchets occasionnés par le découpage du disque dans une tôle de grandes dimensions.

Les éléments sont découpés dans un large plat *(fig. 35).* Ils sont disposés comme *figures 37* à *42* de façon que leurs joints se superposent sur les bras, le moyeu, la jante et offrent ainsi de nombreuses surfaces de soudures assurant une bonne liaison.

La Compagnie des hauts fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer (1) a adopté une forme de jante à nervure intérieure *(fig. 45)*, destinée à supporter les secteurs et à déterminer la position des bras. Cette nervure présente sur son pourtour une série de mortaises ou empreintes en nombre égal à celui des bras de la roue *(fig. 46* et *47).*

Ces entailles reçoivent le tenon que porte le rai à une extrémité.

Afin d'assurer les positions relatives des pièces montées, les secteurs *(fig. 49)*, découpés dans des bandes, subissent un étampage à chaud qui relève les bords d'équerre pour obtenir, par leur juxtaposition, une nervure.

Le moyeu est formé de deux viroles *(fig. 47)* dont celle inférieure *(fig. 48)* présente un rebord à entailles, destinées à recevoir les bords relevés des secteurs, concurremment avec les alvéoles de la virole supérieure.

Les *figures 50* à *52* montrent les dispositions des matrices

(1) Brevet du 17 juin 1891.

Digitized by Google

pour le soudage au marteau-pilon; la roue prend la forme finale (*fig. 53* et *54*).

Les *figures 55* à *60* sont des variantes avec bras à abouts évasés pour assurer une meilleure soudure.

Notons que, dans ce modèle de roue à bras et toile, cette dernière a pour but d'éviter que les poussières qui s'accumulent sur le pourtour de la jante ne retombent dans les boîtes à graisse. C'est pourquoi elle est reportée vers la face extérieure de la roue.

Roues laminées.

Les roues laminées dans les premiers essais, vers 1850, provenaient de paquets à mises croisées que l'on soudait au pilon en leur donnant la forme octogonale, puis la forme circulaire approchée.

Un trou central étant percé, la rondelle était étampée sur mandrin.

Réchauffée à haute température, l'ébauche était livrée à un laminoir, tel que celui *figure 1* (1), *planche 12*, comprenant un axe A sur lequel l'ébauche était montée et tournait sous l'action des cônes lamineurs C au nombre de quatre, disposés symétriquement par rapport à l'axe A.

Les arbres des cônes C étaient horizontaux et se déplaçaient parallèlement pour permettre de produire la pression sur la pièce.

Le déplacement des cônes C était produit par les vis V solidaires de pignons D engrenant avec les roues D′ montées sur les cônes C. Ceux-ci étaient creux afin de pouvoir les refroidir par une circulation d'eau.

Deux galets G dressaient le pourtour de la jante, en comprimant suffisamment le métal pour éviter le développement des gerces qui se produisaient ou tendaient à se produire, lorsque la déformation était prononcée, le métal subissant alors de

(1) Laminoir de M. Chrétien, 1855.



Digitized by Google

grands déplacements dans le sens des rayons et dans le sens circulaire également.

C'est à cause de ces défauts que l'on a été conduit à donner à l'ébauche une forme très approchée de la forme finale achevée par laminage, opération qui se réduit ainsi à un finissage, et donne, dans ce cas, des roues régulières et sans défauts.

Ordinairement le paquet ou le lingot en fer fondu ou en acier doux est fortement martelé au pilon en ménageant un supplément de métal au moyeu et en ébauchant la forme circulaire.

Après réchauffage, la pièce est matricée de manière à percer le moyeu et à lui donner ses dimensions définitives, la toile et la jante étant simplement ébauchées.

On a soin, pendant le matriçage, de tourner la matrice inférieure à chaque coup de pilon et de balayer les battitures tout en projetant de l'eau sur la pièce.

Le matriçage ébauche le trou que l'on achève et rectifie par l'enfoncement d'un poinçon qui enlève une débouchure plus ou moins forte suivant le mode d'opérer.

La roue est de nouveau réchauffée pour subir le laminage. On a soin de garnir le trou de terre réfractaire et de recouvrir le moyeu d'une brique pour limiter l'échauffement de ces parties non soumises au laminage.

Au sortir du four, la roue nettoyée est montée sur l'axe qui la maintient et reçoit l'action des outils lamineurs qui réduisent l'épaisseur de la toile, étirent, façonnent la jante, mettent la roue au diamètre voulu.

L'opération finale consiste à réchauffer le centre au rouge et à lui donner la forme définitive à toile plane ou ondulée, en utilisant des matrices et le marteau-pilon ou la presse.

Si la roue est en acier, elle est recuite au rouge, puis refroidie lentement.

Laminoir Petin et Gaudet.

Le laminoir à roues adopté par MM. Petin et Gaudet présentait la disposition (*fig.* 2, 3 et 4) dans laquelle est sup-

Digitized by Google

primé le galet moteur qui servait à refouler la matière de la jante (1), galet adopté dans le premier modèle de laminoir datant de 1854.

La roue en travail est montée sur un axe A reposant sur un guide support pouvant se déplacer longitudinalement aux axes des cylindres lamineurs CC'.

Le cylindre supérieur C' peut se déplacer verticalement pour produire la pression. La collerette du cylindre C' empêche le métal de s'échapper et le force à prendre la forme de la cannelure.

Le laminage s'opère ainsi sans le concours de galets refoulant le métal.

Néanmoins, cette disposition ne dispense pas de l'emploi des deux galets guides H qui maintiennent la roue.

Ces galets H se déplacent dans les coulisses du bâti, à mesure de l'augmentation du diamètre.

On utilise aussi pour l'achèvement des roues dont l'ébauche est matricée des laminoirs à galets cylindriques tels que celui *figure 5* (2). La roue R est montée sur un axe horizontal A. Les cylindres lamineurs CC' sont disposés sur deux arbres BB' de grande longueur, de manière que l'obliquité due aux déplacements latéraux qu'ils peuvent tous deux prendre pour donner la pression n'ait pas d'action perturbatrice sur les organes de commande.

Le déplacement latéral de chaque arbre est produit par des vis V actionnant les coussinets des arbres. Un galet G, monté sur un arbre D, dresse le pourtour de la jante. Ce galet ne peut se déplacer transversalement, à l'axe de son arbre. Du côté opposé sont encore disposés deux galets coniques EE' qui dressent les rebords de la jante. A mesure que le diamètre aug-

(1) Brevet du 19 mai 1866.

(2) Laminoir système Helson (ancien modèle des forges de la Providence qui ont été les premières en France à adopter le laminage des roues à centre plein).

Digitized by Google

mente, l'axe A se déplace dans les glissières qui le supportent. Cette disposition des cylindres lamineurs donne lieu à des frottements anormaux à cause des différences de vitesses au contact; il tend à se produire des déchirures, si on ne ménage pas une surépaisseur vers la jante, et si la pression n'est pas successive de la jante vers le moyeu.

Il est préférable d'employer le laminoir à cônes lamineurs de la toile comportant, par exemple *(fig. 6* et *7)* (1), deux cônes CC′ pressant la roue montée sur un axe horizontal A se déplaçant sur ses supports à mesure que le rayon de la roue augmente.

Chaque palier de tête P ou P′ des arbres BB′ peut se déplacer obliquement par commande motrice spéciale et organes intermédiaires. Les arbres sont suffisamment longs pour que l'obliquité ne nuise pas à la marche des organes.

Le galet G agissant sur le contour de la jante est commandé par engrenages dont la vitesse est réglée sur celle des cônes CC′. De cette façon l'adhérence est augmentée en vue de l'entraînement de la roue qui tend à conserver le maximum de vitesse sans glissement. Le galet G et les engrenages qui l'actionnent peuvent se déplacer suivant le plan moyen de la roue et d'après l'épaisseur de la jante. Deux galets DD′ agissent sur les rebords de la jante; ils sont écartés ou rapprochés par la manœuvre du volant V.

Le mouvement de rotation est donné aux outils par l'arbre de commande E et par l'intermédiaire d'engrenages.

Laminoir à quatre galets coniques.

Le laminoir *figure 8* (2) comprend quatre galets lamineurs dont les axes concourants deux à deux sont situés dans un plan vertical.

---

(1) Laminoir Helson, nouvelle disposition.

(2) Laminoir de la Compagnie Continentale, à Norristown (Amérique), — *Universal Engineer*, juin 1892.)

Digitized by Google

Les deux cônes inférieurs tournent sans se déplacer verticalement. Les deux cônes supérieurs donnent la pression par un mécanisme à vis n'offrant rien de particulier à indiquer.

Dans les cages du laminoir sont encore disposés deux galets cylindriques pressant le contour de la jante.

Les cônes lamineurs sont commandés par roues coniques; les cylindres latéraux sont entraînés par la roue qui est livrée au laminoir plus ou moins ébauchée et provient soit de lingots d'acier forgés en matrices, soit d'ébauches en acier coulé.

Laminoir à roues de Rittenhouse (1).

Ce laminoir *(fig. 9)* est également du type à quatre galets coniques. Il présente des dispositions assez originales. La roue, étant introduite entre les cônes lamineurs, est maintenue par une tige conique A qui l'empêche de tourner.

Sur l'axe fixe B formant support sont montés les paliers I, à longues douilles des deux cônes inférieurs C, reliés au moyeu de la roue d'engrenage D actionnée par le pignon D'. Il s'ensuit que la rotation de D détermine la rotation des cônes C qui roulent sur la roue laminée.

Les cônes lamineurs supérieurs EE ont leurs paliers H solidaires de ceux des cônes inférieurs, et ces paliers sont munis d'un axe commun F tournant et maintenu dans la traverse G. L'assemblage des supports H et I est tel qu'il permet le déplacement vertical de la traverse G pour produire la pression donnée par le piston hydraulique K placé à la partie supérieure du laminoir. De plus, dans les supports des cônes inférieurs sont logés deux galets latéraux pressant la jante. On conçoit que la roue étant fixe, et les outils étant rotatifs autour de l'axe vertical de la roue, ils tournent en même temps autour de leurs axes propres en roulant sur la pièce. Le laminage achevé, la traverse G est soulevée par l'action des pistons hydrau-

(1) *Universal Engineer*, mai 1893

Digitized by Google

liques L, les cylindres supérieurs se dégagent et on peut enlever la roue en la retirant de la tige A.

Procédés des forges de Saint-Chamond.

Le paquet pour le corps de roue en fer *(fig. 10)* comprend deux mises annulaires maintenant six mises de cinq largets de 20^{mm} × 100^{m}, croisées de manière à assurer la liaison des éléments dans tous les sens. Le paquet est complété, pour la première chaude, par une barre enroulée devant former le moyeu.

Le martelage en matrices correspondant à la première chaude étant achevé, on retourne le paquet pour y placer la deuxième partie devant former l'autre côté du moyeu. Une deuxième chaude permet de souder ces éléments. Deux chaudes supplémentaires complètent la soudure et permettent d'achever l'ébauche en présentant successivement chaque face à une série de 5 à 6 coups de pilon de 15^{t} dans les matrices *(fig. 11, 12* et *13)*. Le perçage du moyeu ne se trouve achevé que progressivement, en laissant une petite débouchure qui est enlevée à la fin de la seconde chaude.

Roue en acier.

Pour les centres en acier doux, le lingot est de forme sphérique *(fig. 14)*. Il est martelé, réduit en épaisseur et matricé sous forme d'ébauche en deux chaudes au jaune orange.

La forme sphérique donnée au lingot a l'avantage de moins allonger le métal de pourtour suivant la section horizontale, de prévenir ainsi les déchirures, et le cœur se trouve mieux fourni, plus pressé par la plus grande réduction d'épaisseur produite au milieu.

Le moyeu se trouve percé comme précédemment par le poinçon de la matrice supérieure ; ses dimensions sont définitives.

L'ébauche en fer ou en acier est réchauffée à température

Digitized by Google

élevée en protégeant le moyeu par une couverte en terre réfractaire, pour passer au laminoir *(fig. 1* et *2, pl. 13)*, qui réduit l'épaisseur de la toile et régularise la jante en produisant une augmentation de diamètre de $0^m,10$ à $0^m,15$ suivant le diamètre des roues.

L'ébauche est montée sur l'axe A solidaire d'un chariot B pouvant se déplacer librement à mesure que le diamètre s'agrandit. La toile et la jante sont pressées par des cylindres lamineurs C, D; ce dernier donne la pression; il se déplace verticalement par la commande des vis VV actionnées par un petit moteur spécial avec organes de transmission disposés à la partie supérieure des cages. Deux galets latéraux EE' guident le corps de roue tout en se déplaçant et en suivant la progression du diamètre. Ils s'éloignent simultanément par la commande *(fig. 3* et *4)*, des vis FF' à l'aide du volant G calé sur l'arbre K portant deux pignons engrenant avec les roues des vis FF'. Ces galets sont déplacés en manœuvrant le volant G à la main et de manière à n'exercer qu'une faible pression sur la jante.

Pour indiquer que le diamètre est obtenu, on repère un galet H fou sur son axe, celui-ci monté sur un chariot que l'on déplace par la manœuvre du volant I.

Le laminage achevé, la roue encore à température du rouge, reçoit la forme ondulée par des matrices finisseuses au pilon de 15^t.

La jante ne se trouvant pas emboîtée par les matrices, pour faire disparaître le gauchissement de la jante, on place sur la face de la roue laissée dans la matrice inférieure un bandage ou anneau rigide *(fig. 5)* sur lequel on abaisse le marteau du pilon sans produire de choc.

Cette opération achève le centre en fer; mais dans le cas de roue en acier, la pièce subit un recuit au rouge cerise dans un four chauffé modérément; puis, à la sortie du four, le centre est recouvert de plaques de tôle et on le laisse refroidir.

Digitized by Google

Une variante du procédé constituant la roue entière dans un paquet de mises soudées, consiste à donner au paquet la forme prismatique octogonale avec deux couvertes circulaires en tôle de 20mm d'épaisseur *(fig. 6)*.

Un premier forgeage en matrices *(fig. 7)* soude le paquet, ébauche le moyeu et laisse à la toile un excès de métal suffisant pour ébaucher, dans le deuxième forgeage également en matrices *(fig. 8)*, le pourtour ou jante de la roue.

Dans ce deuxième forgeage, la matrice supérieure munie d'un poinçon court, ébauche le trou du moyeu en refoulant le métal. On a soin de retourner la roue pour opérer sur ses deux faces, de sorte qu'il ne reste plus qu'une faible débouchure du trou qui est enlevée par un poinçon tenu à la tenaille.

Réchauffée, l'ébauche est laminée en réduisant l'épaisseur de la toile sans toucher au moyeu, et en formant la jante qui pourrait être davantage ébauchée en matrices (1).

Roue à paquet enroulé, procédé Gibert.

La roue est constituée par un paquet formé d'un fer plat roulé en spirale ou avec un fer à empreintes en V, l'enroulement se faisant à chaud sur mandrin *(fig. 9)*.

Le paquet est soudé au pilon, puis livré au laminoir *(fig. 10, 11 et 12)* (2) comprenant deux cônes lamineurs CC′ proprement dits dont les arbres se déplaçant latéralement pour donner la pression, sont assemblés par des joints à rotule avec les arbres de commande AA′.

Deux galets ou cônes auxiliaires BB′ sont montés sur des supports à charnières et leur pression est réglée par les vis VV′.

Un galet cylindrique D régularise l'extérieur de la jante. Deux galets EE opèrent sur les côtés. Les supports de ces ga-

(1) Ce procédé est suivi aux forges de la Providence, à Hautmont.

(2) Brevet Gibert du 6 mai 1864.

Digitized by Google

lets sont commandés pour leur déplacement simultané par une vis F à deux filets, l'un à droite, l'autre à gauche.

De même une vis H actionnée par manivelle à main M règle la position des cônes CC′ en déplaçant les supports SS′. L'axe I portant la roue R se déplace dans ses supports à mesure de l'augmentation de diamètre.

Centre obtenu par enroulement, procédé Lindner.

Les centres pleins sont aussi obtenus par enroulement d'une barre en spirale autour d'un moyeu percé pourvu d'une partie de la toile *(fig. 14)*. On soude en matrices les divers joints et la roue est ainsi plus résistante (1).

Le paquet formant le moyeu est soudé, ébauché, matricé et percé sous un pilon de 5^t; le bord de la toile est à double biseau que l'en ébarbe.

La barre à enrouler est laminée à section en V pour former emboîtement latéral. A l'extrémité de cette barre est soudée *(fig. 13)* une deuxième barre de section plus forte pour constituer la jante *(fig. 14)*.

La tige ainsi formée est chauffée dans un four spécial de grande longueur et amenée à la température soudante à l'extrémité de moindre section; de même, le moyeu est chauffé au rouge et monté sur un arbre horizontal placé devant la porte du four.

La tige en sortant du four est soudée par son extrémité sur le bord du plateau, puis on fait tourner le moyeu lentement pour enrouler la tige. Deux galets verticaux sont disposés, pour guider la tige, de chaque côté de la toile qui s'enroule, de manière à empêcher toute déformation latérale. Cinq spires sont ordinairement suffisantes pour former la toile, puis a lieu l'enroulement de la jante.

On réchauffe la jante pour souder l'about; puis la pièce

(1) Procédé Lindner appliqué à Essen (Westphalie), 1878.

Digitized by Google

est chauffée au four et soudée en matrices au pilon de 10^t. Pendant le martelage, on fait tourner la matrice contenant le corps de la roue de manière à obtenir une grande régularité. On projette de l'eau sur la pièce pour détacher les battitures.

Le centre, retiré de la matrice, est recouvert de fraisil pour modérer le refroidissement des faibles épaisseurs, éviter les tensions intérieures. L'usine d'Essen a livré un grand nombre de ces centres, dont elle peut aisément en fabriquer plus de soixante par jour.

Procédés des forges de Firminy (1).

La confection d'un centre de roue par la méthode adoptée aux forges de Firminy donne lieu aux opérations principales suivantes :

1° L'enroulage d'une barre profilée à V multiples.

2° Le soudage du paquet et ébauchage en matrices.

3° Le laminage pour la mise à dimensions.

4° Le finissage en matrices donnant la forme plane ou ondulée de la toile et régularisant les parties.

La barre de section *(fig. 3, 4 et 5, pl. 14)* est en fer corroyé n° 3. En sortant de la dernière cannelure, l'extrémité qui doit s'engager dans le mandrin enrouleur est affranchie dans ses parties défectueuses, puis l'enroulage se fait sur un mandrin à plateau *(fig. 6, 7 et 8)* présentant une saille A, à encoche recevant le bout de la barre qui est aussi maintenue latéralement par le guide B. Celui-ci peut se déplacer de manière à permettre l'enlèvement du rouleau.

Sur le support B sont montés deux galets CC′ profilés. Le premier C sert à supporter la barre, tout en la guidant pendant l'opération ; le deuxième indique par son contact que l'enroulement doit s'achever et permet, de plus, de fortement serrer la dernière spire.

(1) Procédé de M. Arsac (Aix 1865-68), ingénieur des forges en 1881.

Digitized by Google

L'arbre D du mandrin est actionné à la main pour la mise en place de la barre; ensuite, il est commandé mécaniquement.

Le rouleau est chassé de dessus le mandrin par des coins; on le laisse refroidir et on coupe le métal en excès en tranchant d'abord la patte engagée au centre du mandrin.

Le paquet mis au poids est nettoyé afin d'assurer une bonne soudure.

Le soudage se fait en matrices *(fig. 9, 10, 12* et *13)* au pilon de 10t. La matrice inférieure est munie du poinçon ou tige formant le trou du moyeu.

La matrice supérieure montée sur le mouton s'emboîte *(fig. 10)* dans la matrice inférieure, de manière à éviter la formation des bavures au joint des matrices tout autour de la jante, ce qui motive souvent une perte de temps pour enlever les bavures, réchauffer la pièce et procéder à un matriçage supplémentaire.

Dans une première chaude, le paquet est soudé et on martèle sur une face du centre; dans une deuxième chaude, on complète le soudage et le martelage se fait sur l'autre face de la pièce. Pour retirer celle-ci, on clavette le poinçon avec la matrice supérieure, et le corps de roue est entraîné dans le mouvement ascensionnel du marteau *(fig. 11* et *12)*. On place un tasseau sur la matrice inférieure, on dépose la roue; la clavette étant enlevée, il suffit d'un petit coup de marteau pour chasser le poinçon.

Le refoulage de l'excès de métal à l'endroit de la toile, vers la jante et le moyeu, détermine des compressions énergiques dans tous les sens, ce qui assure un soudage complet des parties.

L'achèvement de la roue se faisait autrefois en matrices *(fig. 15, 16* et *17)* en opérant progressivement sur le moyeu, la toile et la jante, qui était mise au rond et au diamètre par les étampes *(fig. 18)*.

Digitized by Google

Actuellement, le centre de roue est mis à dimensions dans un laminoir *(fig. 19)*.

Le centre, monté sur l'axe A à déplacement libre, est pressé par les cylindres profileurs C, C'. Un galet G monté sur chariot mobile s'applique constamment sur le pourtour de la jante avec une pression produite par le contrepoids P exerçant son action par l'intermédiaire de leviers.

Le galet G, repéré en position, indique le diamètre pris par le centre de roue.

Depuis quelques années, ce laminoir a été remplacé par un autre à axes concourants, afin d'obtenir un laminage plus régulier et éviter les frottements anormaux, les entraînements de matière donnant lieu à des déchirures.

Le centre de roue est parachevé de forge en matrices finisseuses *(fig. 20)*, et en deux chaudes, sous un marteau de 20ᵗ.

La pièce est chauffée au rouge cerise, et on donne à la toile la forme plane ou ondulée.

La matrice inférieure est munie d'une partie mobile en acier que l'on fait tourner à chaque coup de pilon, ce qui déplace le centre de roue et permet de corriger les irrégularités dues à la répartition, non uniforme, des pressions produites par le martelage.

Roues à toile pleine en acier coulé, comprimé et trempé.

Les roues de wagons se font encore en acier coulé manganésé.

Pour obtenir un métal résistant non cassant, il convient de le soumettre à une compression énergique suivie d'une trempe à l'huile et de recuits.

La compression est faite dans des étampes après recuit de la pièce coulée avec des surépaisseurs voulues pour obtenir une action convenable à la compression. Celle-ci se fait, soit en un seul coup de presse, en prenant une paire d'étampes qui recouvrent toute la surface de la roue, soit en appliquant une pres-

Digitized by Google

sion plus forte par élément de surface en subdivisant l'opération en plusieurs compressions qui ne portent successivement que sur une fraction de la surface.

La *figure 21* correspond à des étampes AA ne recouvrant que le moyeu et une portion annulaire de la toile. On fait une première compression avec ces étampes, on les remplace ensuite par les étampes B *(fig. 22)* qui correspondent à toute la surface et l'on produit une deuxième pression donnant à la pièce sa forme définitive.

La pièce est ensuite trempée à l'huile, puis elle subit un recuit; les températures auxquelles se font la trempe et le recuit varient avec le degré de dureté de l'acier (1), dont la variété au manganèse s'améliore grandement, en ce qui concerne la ténacité et la ductilité, par des trempes à l'huile ou à l'eau sur recuit au jaune (2).

Le procédé de moulage en matrices métalliques soumises à une pression énergique après coulée a été appliqué aux roues en acier fondu en les munissant du boudin, c'est-à-dire en supprimant le bandage rapporté (3).

Lorsque la jante est fortement usée, on la tourne à dimensions voulues et l'on y rapporte un bandage.

L'opération se fait à l'aide d'une presse hydraulique dont les dispositions comprennent *(fig. 23* à *26)* une matrice inférieure M fixée sur le bâti; une matrice supérieure M' reliée par trois tiges T au piston hydraulique supérieur P; une couronne C

---

(1) Brevet du 4 juin 1883 à la Compagnie des Forges de Châtillon et Commentry.

(2) Parmi divers essais que nous avons faits avec un acier dont la composition était C 0,59, Si 0,26, Mn 9,25 :

Le recuit au naturel a accusé. . . .	R = 52^{kg}	A pour 100	6
Trempé à l'huile sur recuit au jaune	56^{kg}	—	10
Trempé à l'eau sur recuit au jaune .	61^{kg}	—	12

(3) Brevet John Blacke, appliqué à l'usine de John Brown, à Sheffield.

Digitized by Google

s'ajustant par emboîtement partiel avec M ; un tampon A solidaire de la tige B du piston D.

Le métal est versé par l'orifice O, le jet tombe sur une pièce de plombagine E pour éviter la détérioration de la matrice M. Le métal étant à l'état pâteux, on fait agir la pression sur le piston P en ayant soin de fermer l'orifice O par un obturateur F.

La pression est maintenue pendant une dizaine de minutes, puis on relève M' C et A qui entraîne la roue ; celle-ci est dégagée et enlevée aisément.

Bandages des roues pour voies ferrées.

Les premiers bandages à boudin furent fabriqués avec des barres de fer profilées d'environ 30^{mm} d'épaisseur que l'on coupait à longueur. Le façonnage se faisait comme pour les bandages ordinaires en cintrant la barre droite sur un mandrin, en soudant les abouts par amorces ou par coins *(fig. 1 à 6, pl. 15)*. On enlevait l'excès de métal à la tranche et le bandage porté au rouge était régularisé par un mandrin calibre, en refroidissant par projection d'eau les parties qui ne portaient pas.

Afin de faciliter le démontage de l'anneau, on employa des mandrins segmentés assemblés sur une couronne et dont écartement des segments, ou le rapprochement, était réglé par des coins actionnés par une vis.

Le cintrage se fit ensuite avec machines à cintrer simples analogues à celles encore employées pour la préparation des cercles de jante.

Les barres de fer, dont l'épaisseur fut successivement portée à 70^{mm}, comportaient du fer à grain pour la face de roulement, afin de mieux résister à l'usure, et du fer à nerf pour le corps afin d'assurer une grande ténacité.

Plus tard, et particulièrement pour les bandages des roues de locomotives, on adopta du fer à grain provenant de riblons ou de fer corroyé de première qualité, puis l'acier puddlé.

Digitized by Google

Le soudage des bandages en acier puddlé se faisait par l'intermédiaire d'une mise de fer doux au bois interposée entre les abouts de la barre cintrée, coupés d'équerre et laissant un vide de quelques millimètres; les abouts étaient écartés de 5 à 6^{cm} au moyen d'un coin. On plaçait alors intérieurement au bandage, suivant le diamètre perpendiculaire au joint, une barre d'écartement qui maintenait la distance après la chute du coin.

Dans l'ouverture était suspendue la mise de soudage *(fig. 7* et *8)* (1). Le bandage était alors placé dans le four *(fig. 9* à *11)* et porté au blanc soudant dans la partie à souder.

Sans retirer le bandage du four, on faisait alors tomber la barre d'écartement par un coup de masse; les abouts, violemment ramenés l'un vers l'autre par l'élasticité du bandage, comprimaient énergiquement la mise et les pièces se soudaient à haute température dans le foyer.

Ensuite, un fort tendeur à griffes FF' *(fig. 12)* rapprochait encore les abouts, les surfaces de joint s'épanouissaient en bourrelets avec la mise.

Le bandage étant alors enlevé, était placé sur une enclume *(fig. 12)*, le diamètre normal au plan de joint étant disposé verticalement et un pilon à bras de 200^{kg}, battait sur la griffe F faisant fonction de chasse.

Le coup était transmis à la soudure par le cercle lui-même. A chaque coup on serrait le tendeur et trois frappeurs contre-forgeaient la soudure au marteau à main.

Une deuxième chaude ordinaire complétait la soudure et l'excès de métal était enlevé à la tranche.

La difficulté d'obtenir des bandages pour roues de machines, bien réguliers, avec les moyens simples ordinaires fit adopter, vers 1845, des machines à cintrer et à rectifier qui accélérèrent la fabrication.

---

(1) Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 1850.

8

Digitized by Google

Les paquets de fer ou d'acier puddlé étaient soudés au pilon, puis laminés; les barres coupées immédiatement à longueur par une scie circulaire étaient cintrées dans la même chaude dans une machine telle que celle *figures 13, 14* et *15* (1).

La barre était engagée entre les galets A et B à axes verticaux, tous deux montés sur des arbres F et M commandés par roues d'engrenages. Le rouleau A à déplacement parallèle serrait la pièce contre B. Un galet B', à déplacement, réglait la courbure. Un galet B″ guidait la pièce, l'empêchait de se gauchir.

Le bandage, soudé, était réchauffé au rouge et passait de nouveau à la machine pour rectifier les déformations. On profitait de la haute température du bandage pour embattre la roue.

La soudure des abouts d'un bandage étant délicate à exécuter et donnant lieu à un point faible où généralement se produisait la rupture, on fut conduit à former le bandage par enroulement d'une barre soit en hélice, soit en spirale.

Ces bandages dits sans soudure datent de 1848 (2) et furent fabriqués en France dans les ateliers de MM. Petin, Gaudet et Morel, à Saint-Chamond. Ils motivèrent la création de laminoirs spéciaux dits à bandages, dont le rôle consistait à finir la pièce en lui faisant subir un certain étirage. A l'usine de Saint-Chamond, le paquet *figure 16* se composait de barres de fer puddlé de $0^m,025$ d'épaisseur et de $0^m,070$ de largeur que l'on enroulait de champ en hélice sur un cylindre, au sortir de la dernière cannelure de laminage. Deux ou trois anneaux étaient placés autour d'une virole intérieure formée par une bande de fer corroyé de $0^m,030$ d'épaisseur, de $0^m,220$ de

(1) Annuaire de la Société des Anciens Élèves des Écoles d'Arts et Métiers, 1852. Note de M. Rignault sur cette machine installée aux ateliers d'Ivry de la Compagnie d'Orléans. A cette époque, c'était un grand progrès de faire mouvoir une telle machine par transmission mécanique.

(2) Renard. Brevet du 17 janvier 1848.

Digitized by Google

largeur, coupée obliquement de manière que, après l'enroulement ou cintrage à la machine, la ligne de contact fût oblique et permît la soudure en sifflet.

La virole et les anneaux étaient assujettis par des coins chassés, à force, au marteau.

Le paquet pesait environ 190^{kg} pour des bandages du poids de 166^{kg}.

Dans une première chaude, deux légers coups de pilon étaient d'abord donnés, puis le paquet était retourné sur l'enclume; deux autres coups étaient suivis d'un nouveau changement de face. On répétait cette opération deux fois et le paquet était reporté au four.

L'enclume du marteau-pilon était munie d'une cavité circulaire d'environ $0^{m},015$ de profondeur emboîtant le paquet, tandis que le marteau, d'un poids de 6^{t}, était armé d'un tronc de cône destiné à maintenir le diamètre intérieur du paquet. Celui-ci subissait trois martelages analogues au premier; les derniers coups écrasaient le bord du paquet sur le rebord de la cavité de l'enclume, ce qui régularisait la forme circulaire.

Ce martelage, en quatre chaudes, donnait un déchet de 12 0/0 environ.

Une dernière chaude était donnée pour le laminage, puis à la sortie du laminoir le bandage était monté sur un mandrin plate-forme de diamètre exact et plongé dans l'eau froide pour déterminer une légère trempe et régulariser le bandage en diamètre.

Le fer employé pour ces bandages provenait de fontes grises au bois du Berri, mélangées avec une certaine proportion de fontes aciéreuses au bois.

D'autres forges employèrent des paquets formés de barres à section rectangulaire ou à section en V (*fig. 17*, *18* et *19*) également enroulées en hélice et en disposant à l'intérieur des coins ou douves serrées à force. Les barres intérieures étaient en fer, le rouleau en acier puddlé ou le tout était en acier puddlé.

Digitized by Google

Les bandages formés d'une barre plate enroulée en hélice et soudée présentent l'inconvénient que les joints des spires se trouvent disposés normalement à la surface de roulement, et que les bandages se fendent en service. Il est préférable d'enrouler la barre en spirale et d'adopter une barre profilée présentant des saillies auxquelles correspondent des creux sur la face opposée, de sorte qu'en enroulant une telle barre, les saillies s'engagent dans les creux correspondants, empêchent tout déversement, facilitent la soudure en augmentant les surfaces de contact et surtout en faisant participer des avantages de la soudure à plat sur la soudure sur champ.

Le profil des barres peut affecter les formes *figures 20* à *25* (1). Le soudage de ces paquets se fait d'abord par une chaude au pilon sur enclume circulaire, frappe à tronc de cône et rebord plan en retournant souvent le paquet.

A la deuxième chaude soudante, le manchon est bigorné au pilon dont la frappe *(fig. 27)* est disposée pour ébaucher le boudin tout en étirant, dégrossissant le bandage. La bigorne de forme conique est un peu inclinée sur l'enclume. L'ébauche réchauffée est ensuite laminée.

Bandages matricés.

Le matriçage a été appliqué en 1856 par MM. Brignon et Goudet en employant une presse de 800^t *(fig. 26)* (2).

Le bandage, après avoir été cintré et chauffé au blanc soudant, était placé dans la matrice inférieure M.

Un mandrin intérieur A était vivement abaissé pour maintenir convenablement le métal.

Puis la pression, sur le plongeur P, relevait la matrice M contre la matrice supérieure N qui était fixe et adaptée au sommier S de la presse.

(1) Brevet du 28 mai 1883. Société des Aciéries et Forges de Firminy.

(2) Brevet Brignon et Goudet, 1856. (*Étude sur les marteaux-pilons*, par MM. D.-A. et Ch. Casalonga. *Bulletin technologique*, janvier 1888.)

Digitized by Google

Le bandage était ainsi soudé par la compression énergique qui se développait dans tous les sens du joint, et le profil était rapidement obtenu, il suffisait d'enlever les bavures.

Le dématriçage s'opérait après avoir laissé le bandage quelque peu en pression. On relevait le mandrin A qui était fortement serré par le bandage; la matrice inférieure s'abaissait, le bandage était enlevé sans résistance de la matrice.

Le mécanisme de manœuvre du mandrin A fut ultérieurement remplacé par un cylindre à vapeur pour opérer rapidement.

Rappelons encore le procédé (1) qui consistait à forger un cercle en fer, à le chauffer au blanc soudant, à le saupoudrer de borax et à le placer dans une lingotière en fonte.

On coulait de l'acier sur le pourtour du cercle, dans un vide ménagé, à cet effet, dans le moule.

L'ébauche aciérée était martelée et laminée.

Le soudage du fer et de l'acier était complet.

Les premiers bandages sans soudure exécutés en acier fondu au creuset à l'usine de Krupp provenaient de lingots martelés sous la forme *figure 28*.

Vers chaque bout, on perçait un trou de $0^m,05$, puis la pièce était fendue à la tranche, au pilon.

Les parties étaient écartées, bigornées sur réchauffage.

La pièce était ensuite rechauffée de nouveau et livrée au laminoir.

Ces bandages, exécutés avec un excellent acier, donnaient toute satisfaction.

Ce procédé convient particulièrement pour les bandages de grand diamètre tels que ceux des roues de locomotives.

Bandages en acier fondu.

Les bandages en acier fondu au creuset, au convertisseur ou au four Martin Siemens, sont constitués par des lingots

(1) Procédé Verdié, appliqué pendant un certain nombre d'années en Angleterre et aux Aciéries de Firminy, 1860.

Digitized by Google

transformés de plusieurs façons pour obtenir un anneau plus ou moins ébauché qui est achevé au laminoir à bandages.

S'il s'agit de bandages de petit diamètre comme ceux des roues de tramways, on les débite dans un lingot régularisé à la forme octogonale ou cylindrique au pilon ou à la presse. Mais, pour les dimensions courantes, chaque lingot correspond à un bandage et on lui donne une forme conique ou renflée (*fig. 29* et *30*) de hauteur égale à une ou deux fois le diamètre. Il ne faut pas exagérer ce rapport, sinon, à l'aplatissement, le pourtour se crique et le cœur a une tendance à se déchirer. Il en est de même avec les lingots ovoïdes; la forme sphérique parfois adoptée est celle qui donne le minimum d'allongement de pourtour et par suite de chances de criques, à moins cependant que la hauteur du lingot conique soit plus petite que le diamètre.

Les chutes étant coupées, le poids réglé avec excès, le lingot se trouve réduit d'environ 20 0/0.

On a soin de vérifier chaque lingot, de faire disparaître tout défaut qui pourrait motiver le refus du bandage.

Réchauffé, le lingot est aplati au pilon de 10 à 20^{t} selon la grosseur; on lui donne ainsi la forme d'une galette de 125 à 150^{mm} d'épaisseur (*fig. 31*). On procède immédiatement au perçage au moyen d'un poinçon cylindrique ou d'un poinçon conique, le trou ayant un diamètre de 150 à 250^{mm} (*fig. 32*).

L'ébauche est de nouveau vérifiée et pesée à 200^{gr} près; le métal en excès est découpé à la tranche, sur le pourtour. On a soin d'enlever les bavures et de porter une grande attention à ce qu'il n'existe pas de trace de laitier ni de criques. Cette inspection méticuleuse, et la bonne conduite des opérations préliminaires, préviennent les rebuts après laminage.

Dans une deuxième chaude, l'anneau est agrandi sur l'enclume à bigorne (*fig. 27*) avec un pilon de 6 à 8^{t} dont la frappe ébauche le boudin.

Digitized by Google

L'enclume comporte parfois deux bigornes et la frappe dégrossit, ébauche deux bandages simultanément *(fig. 34)*.

L'anneau est ensuite redressé à plat sur enclume ou tas et on le laisse refroidir en le recouvrant de cendres. Il affecte alors la forme *figure 33*; son diamètre extérieur étant d'environ la moitié du diamètre final.

Ces opérations se font souvent en une chaude pour les bandages de roues des wagons; il faut deux chaudes pour les bandages des roues de machines.

Ce martelage prononcé donne au métal de meilleures qualités qu'avec des lingots-manchons qu'on livre immédiatement au laminoir. Cependant divers maîtres de forge n'approuvent pas le procédé de perçage et d'ébauchage à la bigorne. Ces opérations ont l'inconvénient de déterminer des criques au pourtour et à l'intérieur du trou. Il faut évidemment un métal très ductile (1).

Les anneaux sont nettoyés avec soin pour éviter les pailles, constater les criques que l'on enlève à la tranche ou bien la pièce est mise au rebut.

L'ébauche étant de nouveau réchauffée est laminée dans un dégrossisseur, puis dans un finisseur.

Après le laminage, il faut examiner attentivement les pièces, écarter celles qui présenteraient des criques ou autres défauts. On vérifie aussi les diamètres afin de les rectifier, s'il y a lieu, avec un mandrin.

S'ils sont gauches, on les dresse à la presse. Ces opérations portent sur environ 10 0/0 de l'ensemble.

Il importe que le laminage se fasse rapidement, de manière qu'à la fin de l'opération, le métal soit encore au rouge.

Le service des bandages de locomotives est souvent garanti

(1) L'acier pour bandages ne s'éloigne pas beaucoup de la composition : C 0,34 à 0,40; Ph 0,016 à 0,019; Si 0,14 à 0,07; Mg 0,130 à 0,700. Les coefficients de ténacité et d'allongement : R = 50 à 70; A = 20 à 19 0/0; striction 25 à 60.

Le prix des bandages bruts de forge est tombé à 20 francs les 100 kilog.

Digitized by Google

pour une durée de cinq ans; celui des roues de wagons est garanti pour deux ans; ou bien on impose un parcours qui varie de 60.000 à 100.000^{km}.

Ébauchage de bandages (Méthode Kennedy).

Pour rendre plus rapide l'ébauchage des bandages, faciliter les opérations de martelage, de poinçonnage et amener le lingot sous forme annulaire, M. J. Kennedy a imaginé un appareil ingénieux dont les différentes manœuvres se font mécaniquement par pistons hydrauliques (1). Le lingot affecte successivement les formes *figures 35* à *39*. Réchauffé, le lingot est aplati et percé par un marteau de 20^t, puis il est bigorné sur le bec d'une enclume avec un marteau de 6^t placé près du premier.

Toutes les opérations au marteau de 20^t se font sur une enclume E desservie par les engins suivants :

Une table T *(fig. 44)*, disposée sur un côté de l'enclume, présente quatre évidements cylindriques $A_1A_2A_3A_4$ pouvant être amenés à tour de rôle au centre de l'enclume, en faisant pivoter la table T au moyen des pistons hydrauliques BB′ dont la chaîne de liaison s'enroule sur une poulie à empreintes calée sur l'axe C de la table *(fig. 43)*. L'amplitude de la rotation partielle est réglée exactement par un encliquetage à rochet C et verrou C′ actionné par leviers multiples articulés D et maintenu en prise par un contrepoids.

Le premier évidement A_1 correspond à une étampe en forme de galette; le deuxième A_2 reçoit un tampon F *(fig. 40)* pour percer le trou par refoulement; le troisième A_3 est muni d'une matrice G *(fig. 41)* pour achever le trou avec un poinçon for-

(1) Cet appareil est installé aux forges des *Latrole Steel Works*, à Latrole (Pennsylvanie). Ces forges, construites en 1890 sur les plans de M. J. Kennedy, de Pittsburg, sont uniquement destinées à la fabrication des bandages. — *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure* du 24 janvier 1891; *Génie Civil*, août 1891; *Portefeuille des Machines*, mai 1892.

Digitized by Google

tement conique G′ qui évase l'ouverture, tout en défonçant la débouchure qui est ainsi de faible importance; le quatrième A_4 porte le tampon élargisseur H *(fig 42)*.

Les tampons sont montés sur des mandrins I qui s'ajustent dans les évidements circulaires avec un certain jeu, afin qu'ils reposent bien sur l'enclume quand le marteau agit.

La table fixe T′ reposant sur les poutres et traverses de base, présente une ouverture J par laquelle tombent les débouchures poinçonnées.

Le lingot étant aplati dans la première matrice, qui en resserre le métal au pourtour, est présenté au-dessus du tampon F qui ébauche le trou, puis au-dessus de la matrice à poinçonner G et, finalement, au-dessus du tampon H qui complète l'élargissement du trou.

Les manœuvres du lingot sont exécutées par un serviteur hydraulique dont les pinces K, K′ *(fig. 1* et *2, pl. 16)*, saisissant la pièce, se rapprochent ou s'éloignent simultanément de quantités égales, de sorte que le centre du lingot se trouve toujours à une distance constante du pivot L; et que le centre du lingot corresponde toujours avec le centre de l'enclume.

Les pinces KK′ sont montées sur le bras du serviteur et sont reliées à deux pistons hydrauliques MM′. Les pinces KK′ sont solidarisées par articulations avec des leviers N, de manière à ne pouvoir se déplacer que simultanément et de quantités égales et contraires.

Le bras portant les pinces peut se déplacer angulairement en pivotant autour de L par l'action des pistons O reliés par une chaîne enroulant la poulie de l'arbre L. La butée du bras contre un arrêt règle la position par rapport à l'enclume.

Le bras peut s'élever ou s'abaisser par le déplacement de L formant cylindre hydraulique sur le piston colonne P *(fig. 3)*.

Ce serviteur est commandé par un seul homme assis sur le siège Q de la volée *(fig. 4* et *5)*, par la manœuvre de leviers

Digitized by Google

$R_1R_2R_3$, actionnant trois robinets $S_1S_2S_3$, réglant l'admission de l'eau, ou son échappement, à travers les tuyaux de communication avec les cylindres hydrauliques.

Le robinet S_1 admet l'eau dans le cylindre vertical L pour la levée de la grue.

Le robinet S_2 distribue l'eau aux cylindres des pinces.

Le robinet S_3 la distribue aux cylindres de pivotement.

La prise d'un lingot s'opère en écartant les pinces par admission de l'eau au cylindre V *(fig. 6)*, puis en serrant les pinces par admission au cylindre X. Les manœuvres s'exécutent rapidement, avec sûreté. Le travail n'exige qu'un mécanicien pour le pilon et un homme pour le serviteur. L'enlèvement de la pièce pour le réchauffage, et pour la présenter au laminoir, se fait également par grues hydrauliques. L'atelier où sont installés ces engins peut fabriquer 100 bandages par jour.

Bandages en acier comprimé.

Afin de simplifier le travail de forgeage, on a préconisé l'emploi d'ébauches annulaires dont le métal est comprimé fortement dans le moule. Les *figures 7* et *8* indiquent une disposition simple comprenant deux lingotières A et D présentant des orifices de coulée M; un mandrin tampon T conique actionné par levier et vis comprime le métal au moment opportun (1).

Un autre procédé consiste à couler l'ébauche du bandage sous un marteau-pilon *(fig. 9, 10* et *11)*. Aussitôt que le jet A arrive à la hauteur d'un couteau B, on frappe sur celui-ci pour boucher le trou de jet, qui est un peu plus bas que le mandrin C.

Le pilon frappant alors sur ce mandrin forge la rondelle E.

Le noyau métallique F est repoussé, le mandrin C est enlevé, de même que la lingotière par abatage ou à la presse. La ron-

(1) Brevet Dietrich, 24 janvier 1865

Digitized by Google

delle d'acier, après avoir subi ou non un réchauffage, est livrée au laminoir finisseur. Ces procédés ne se sont pas répandus, le métal peu travaillé ne présente pas des coefficients de ténacité et de ductilité suffisants (1).

Laminoirs à bandages.

Les premiers laminoirs à bandages, utilisés vers 1848, étaient disposés comme les machines à cintrer ces pièces. On produisait un faible étirage; le bandage était régularisé et mis au diamètre. Les bandages à enroulement déterminèrent un laminage dégrossisseur et l'emploi d'outils plus puissants permettant aussi de laminer les ébauches en acier fondu.

L'un des premiers appliqués fut celui *(fig. 12* et *13)* (2) de Rowan. Le bandage B est saisi entre deux cylindres lamineurs A et A'; le premier, monté sur un arbre vertical C recevant le mouvement de rotation moteur, présente une cannelure profilant le bandage extérieurement; le deuxième cylindre A' est monté sur un arbre vertical D pouvant se déplacer parallèlement, pour se rapprocher ou s'éloigner à volonté du premier, et faire pression sur le bandage en agissant sur la face cylindrique extérieure.

Le bandage B repose aussi sur un rouleau R.

Le déplacement du support de l'arbre D au commencement et à la fin de l'opération s'obtient rapidement par la manœuvre d'un levier L monté sur un arbre vertical E muni de deux manivelles à vilebrequins ajustées dans les parois du chariot support S.

Pendant le laminage, le chariot est actionné par deux vis V commandées par des engrenages en relation avec l'arbre de commande par l'intermédiaire d'un embrayage à friction F.

---

(1) Brevet Buisset, 30 avril 1887.

(2) Laminoir Rowan, de Glasgow. Annuaire de la Société des Anciens Élèves des Écoles d'Arts et Métiers, 17e année, 1864. *Note sur les machines à laminer les bandages*, par A. Chenot. Les dessins des laminoirs Heptinstall et de Longridge sont également ceux de cette note.

Digitized by Google

Enfin, vers la fin de l'opération, le chariot S est déplacé par la manœuvre d'un volant manivelle à manettes G, en ayant eu soin de débrayer le manchon F. On peut ainsi régler à volonté la pression finale pour arriver à laminer le bandage au plus près du diamètre à donner.

Le bandage passe ensuite dans un laminoir finisseur à dispositions analogues comportant en outre des galets rectifiant la courbure et d'autres servant à dégauchir la pièce.

En sortant du finisseur le bandage en acier est porté dans un four à recuire, puis dans une fosse de refroidissement lent, à l'abri de l'air, pour assurer une grande uniformité dans la chute de température et prévenir les déformations.

Diverses usines se contentent de recouvrir les pièces de cendres.

Parfois les bandages sont trempés à l'huile, opération délicate, produisant trop souvent l'ovalisation ou le gauchissement de la pièce.

Le procédé de trempe qui donne les meilleurs résultats pour les bandages consiste à plonger la pièce dans l'huile pendant un temps déterminé, produisant un refroidissement assez rapide qui saisit le métal, conserve le grain fin.

Le bandage est retiré du bain quand il est encore au rouge très sombre ; on le laisse refroidir lentement à l'air, ce qui évite la formation des tensions intérieures, limite le gauchissement à de faibles valeurs.

Cette opération coûteuse et dont l'effet n'est que relatif pour un métal fortement forgé, n'est adoptée que très exceptionnellement. Il y a toujours à craindre les fêlures.

Le recuit, au contraire, est nécessaire pour faire disparaître les tensions intérieures qui se développent par suite des différences d'étirage dans les parties du profil d'épaisseur variable.

Remarquons que les outils étant à axes parallèles, il se produit des entraînements ou des glissements au contact du pro-

Digitized by Google

fil AB *(fig. 14)*, dont les vitesses varient en chaque point, alors que sur CD, la vitesse est constante. De plus, les épaisseurs étant variables, l'étirage devrait se faire dans le rapport de ces dimensions, ce qui n'a pas lieu ; on étire davantage sur BD que sur AC.

Ce défaut du laminage par l'emploi d'outils à axes parallèles serait en grande partie atténué en les disposant suivant des axes inclinés, ce qui ne compliquerait pas outre mesure les laminoirs.

Laminoir Heptinstall.

Dans le laminoir Heptinstall *(fig. 1* et *2, pl. 17)*, les cylindres sont à axes horizontaux. Le cylindre supérieur A porte deux cannelures profilant le pourtour du bandage ; l'une A_1 sert pour le dégrossissage; l'autre A_2, disposée du côté opposé, est la cannelure finisseuse.

Le cylindre de pression B peut se déplacer parallèlement pour se mettre en position correspondant avec chaque cannelure et permettre de produire la pression. Ce déplacement vertical pour la pression est obtenu par les vis V déplaçant le charriot-support de l'arbre B. Pour le dégrossissage, le mouvement de serrage continu est produit automatiquement, soit par la commande de l'arbre C au moyen d'une courroie chaussant la poulie P, soit par l'intermédiaire des galets de friction EFFG, les galets FF étant réglés en position par une tige filetée en partie avec filet à droite, et en partie avec filet à gauche.

La courbure du bandage est réglée par un galet H qui correspond au côté dégrossisseur. Pour le finissage, il existe des galets analogues dont l'un, I, indique que le diamètre est atteint lorsqu'il se met à tourner.

Le dégrossissage exige une ou deux chaudes suivant les dimensions et la nature du métal. Le finissage se fait en une chaude.

Digitized by Google

Laminoir à bandages de Wickers (1).

Dans le laminoir de Wickers *(fig. 3* et *4)*, les outils sont disposés en porte-à-faux, en dehors des paliers, afin de faciliter la manœuvre de mise en place du bandage et son enlèvement du laminoir.

Le cylindre A opère sur l'intérieur du bandage et son collet maintient l'une des faces latérales.

Le cylindre B forme le pourtour et son collet agit sur la deuxième face latérale.

Les brides formant collets sont de diamètre suffisant pour déterminer une cannelure fermée.

Le diamètre du cylindre A est relativement petit pour permettre d'opérer sur un bandage ou ébauche percée d'un trou de $0^m,15$ à $0^m,20$ seulement.

Le cylindre B est mobile verticalement afin d'exercer la pression nécessaire au laminage et permettre l'engagement ou le dégagement de la pièce.

La pression sur le cylindre B est produite par un piston hydraulique P.

Chacun des arbres actionnant les cylindres est commandé séparément à des vitesses proportionnelles à leurs diamètres, ainsi qu'à la différence variable entre les diamètres intérieur et extérieur du bandage.

Le laminoir de Wickers a été transformé comme *figures 5* et *6*.

Les arbres de commande ont été placés du même côté et portent deux roues d'engrenages les reliant pour la transmission du mouvement de rotation. Ces arbres sont de grande longueur de manière que l'obliquité n'a pas pour effet de nuire à la bonne marche des organes.

---

(1) Brevet du 27 juillet 1886.

Digitized by Google

Deux galets de courbure DD′ agissent sur le pourtour du bandage. Leur position est réglée à la main dans le laminoir ébaucheur et automatiquement dans le finisseur.

Ces deux laminoirs sont installés ordinairement de manière à être actionnés par un même moteur développant environ 400 poncelets. L'ébaucheur réduit simplement l'épaisseur du bandage en l'amenant à un diamètre égal au tiers ou à la moitié du diamètre définitif. Pour les bandages dont le diamètre est inférieur à $1^m,50$, on opère en une chaude; pour les diamètres supérieurs on réchauffe à la sortie de l'ébaucheur.

Laminoir de Longridge.

Le laminoir de Longridge *(fig. 7* et *8)* est disposé pour l'ébauchage des bandages.

Il comprend deux cylindres A, B, à cannelures multiples.

Le cylindre supérieur A se déplace à volonté, verticalement, par l'action de deux vis V dont les écrous portent une denture hélicoïdale C engrenant avec des vis sans fin montées sur un arbre pouvant prendre deux vitesses différentes, suivant qu'il est commandé par la poulie P ou par la poulie P′. Le cylindre A reçoit l'action motrice par l'arbre E. Le cylindre inférieur B est monté sur des supports SS′, qui se déplacent à volonté horizontalement par le jeu de pistons hydrauliques FF′.

Pour engager le bandage, on relève le cylindre A ; on déplace le support S en faisant appel par le piston F. Puis on ramène le support S et on produit la pression et le laminage. Pour changer de cannelure, on soulève le cylindre A suffisamment pour le passage du bandage. Pour enlever le bandage, le cylindre est dégagé du support S' par le piston F, le cylindre A étant relevé. Ce laminoir permet de produire un étirage prononcé assez rapidement.

Les laminoirs sont actuellement disposés pour achever le

Digitized by Google

bandage dans la dernière cannelure des cylindres. Ainsi, *figure 9* (1), le laminoir reçoit le bandage bigorné et réchauffé et le termine en trois ou quatre cannelures.

Le cylindre inférieur B reçoit le mouvement de rotation du moteur et il peut se déplacer longitudinalement. Le cylindre supérieur A, équilibré par un contrepoids, se déplace verticalement et se dégage de ses paliers pour le passage de l'anneau. Celui-ci est placé successivement dans les quatre cannelures et y reçoit l'étirage et le profilage qui y correspondent.

Pendant le laminage en cannelure finisseuse, le bandage est appuyé contre un plateau vertical redresseur mobile verticalement par l'action d'une presse hydraulique. Il est maintenu contre le plateau par un galet latéral G. Un autre galet D s'appuie sur le bandage à la partie supérieure et sa position repérée indique le diamètre par une aiguille indicatrice. Deux rouleaux EE' guidant et soutenant le bandage sont mobiles à volonté en écartement et règlent la courbure. L'opération dure cinq à six minutes. On peut façonner une centaine de pièces par poste.

Bandages laminés directement.

Afin d'opérer rapidement, on supprime les opérations préliminaires au laminage en partant d'un lingot annulaire permettant de façonner deux, trois, quatre ou même un plus grand nombre de bandages, simultanément. On réduit ainsi au minimum le déchet provenant de la croûte supérieure qu'il est nécessaire d'enlever et dont l'épaisseur varie de 25 à 75^{mm}; épaisseur qui peut être réduite par l'application du procédé de compression en lingotière. En supprimant le martelage du lingot et le poinçonnage, on ne risque plus de déterminer des criques et des tensions moléculaires prononcées vers le pour-

(1) *Bulletin technologique*, 1882. Note de M. Lerefait.

Digitized by Google

tour. Cependant, si l'aplatissement excessif est défavorable, il convient, pour serrer les molécules, de donner un étirage suffisant, de laminer énergiquement le lingot en le transformant en bandages. C'est ce que l'on a cherché de réaliser dans ce procédé appliqué aux États-Unis (1).

Les *figures 11* à *17* indiquent le mode d'action des cylindres lamineurs.

Le lingot pesant de 1.000 à 3.000^{kg} est coulé directement autour d'un noyau rétrécible pour qu'on puisse facilement le retirer.

Réchauffé, le lingot est ébauché dans le train dont les cylindres (*fig. 12*, *13*, *15* et *16*) sont munis de collets ou de rebords tranchants qui séparent, par leur pression, les divers bandages et la chute.

Le métal déplacé par les collets est refoulé dans la masse ; ces collets ne découpent que peu à peu le lingot de manière que le laminage se produise en même temps sur toutes les parties. La plus grande portion du déchet est ainsi l'excès de métal découpé par le laminoir à la partie supérieure.

Les *figures 15* à *17* montrent le lingot à diverses périodes du laminage, qui se fait en deux chaudes ; la deuxième chaude correspond au travail de finissage de chaque bandage. On se propose de faire les deux opérations, ébauchage et finissage, en une seule chaude, et même d'obtenir sur un seul laminoir d'ébauchage et sur deux laminoirs de finissage six bandages en travail simultané.

Actuellement, on arrive à découper, en une heure, 42 anneaux d'ébauchage dans 14 blocs creux.

---

(1) Brevet du 3 juin 1889. (M. Munton, ancien ouvrier maçon, directeur de la *Chicago Tire and Spring Compagny*, à Melrose, près Chicago.)

Dans cette usine, l'acier pour bandages de roues de locomotives comporte la composition suivante : C 0,55 ; Mg. 0,70 ; Si 0,30 ; Ph 0,07. Pour les roues de wagons on adopte un acier un peu plus dur comprenant 0,60 à 0,65 de carbone.

Digitized by Google

Laminoir Munton.

Le laminoir Munton *(fig. 18, 19* et *20)* comprend deux cylindres lamineurs B et C. Le cylindre B est seul commandé. Le cylindre C est fou sur son axe vertical dont les paliers sont solidaires d'un chariot qui se déplace transversalement, sous l'action du piston hydraulique K qui presse constamment les bandages entre C et B. Le palier supérieur de l'axe C est relié au chariot par deux tiges articulées qui permettent, après l'opération achevée, d'enlever le palier pour retirer les bandages ébauchés et les remplacer par un nouveau lingot.

L'enlèvement du palier supérieur se fait au moyen de deux pistons hydrauliques.

La pièce laminée est supportée, du côté opposé aux cylindres lamineurs, par un galet E monté sur l'extrémité d'un arbre E' commandé par des engrenages. Cet arbre E' peut se déplacer longitudinalement pour suivre l'augmentation du diamètre du bandage.

Quatre galets DD, GG s'appliquent, avec pression déterminée, sur le pourtour des bandages et régularisent la courbure. Ils se déplacent en restant toujours tangents à un cercle passant par le centre du bandage.

A cet effet, les galets GG sont montés sur un chariot M poussé vers le lingot par un piston hydraulique N. De plus, ils sont reliés à deux balanciers OO' pivotant sur M et dont les extrémités, d'un côté, sont pourvues de galets coulissant dans des rainures fixes RR'; le chariot M porte aussi deux coulisses TT' droites et inclinées qui déplacent, par l'intermédiaire des leviers QQ, les deux autres galets cintreurs DD.

Le chariot M entraîne avec lui le bâti des rouleaux E et F, qui suivent ainsi automatiquement le développement du bandage.

La figure suppose le galet supérieur F enlevé. Ce galet, qui

Digitized by Google

reçoit la pression d'un piston hydraulique S, a pour but de bien appliquer la pièce sur le galet inférieur E, d'empêcher toute tendance au soulèvement.

Une aiguille solidaire du chariot M indique, d'une façon continue, le diamètre exact du bandage et permet de terminer l'opération au point déterminé en faisant cesser la pression hydraulique dans les cylindres NKS.

Grâce à l'emploi des quatre galets directeurs GG, DD, il est possible de restreindre le bandage quand on lui a donné un diamètre trop fort. Dans ce cas, la pression par le cylindre C est supprimée, on modère à une très faible valeur celle sur le galet F et on augmente les pressions réciproques des quatre galets GG, DD qui développent des efforts dirigés vers le centre et opèrent ainsi la réduction du diamètre, la section augmentant tant soit peu. La rotation du bandage est assurée par le cylindre extérieur B dont la réaction coopère également au travail de restreignage; de plus les galets E, F déterminent aussi la rotation. Cette disposition est tout particulièrement mise à profit dans le laminoir finisseur pour obtenir au plus près le diamètre voulu.

Au point de vue constructif, les divers organes de ce laminoir sont disposés de manière à pouvoir régler exactement leur position, rattraper le jeu dû à l'usure, réduire les manœuvres et les faire mécaniquement. Le lamineur contrôle facilement l'opération, règle à volonté les pressions des divers pistons hydrauliques.

La commande de l'arbre vertical B est obtenue par des engrenages coniques, l'arbre A' horizontal étant en relation avec celui de la machine A par des roues cylindriques intermédiaires H'H, cette dernière engrenant avec la roue H'' montée sur l'arbre du galet E.

Les bandages, étant réchauffés ou non, à leur sortie de l'ébaucheur sont successivement achevés à un laminoir finisseur *(fig. 21)* de construction analogue à celle de l'ébaucheur

Digitized by Google

et donnant des bandages très réguliers ne nécessitant plus que les opérations du recuit et du refroidissement lent à l'étuve (1).

Mandrinage des bandages.

A la sortie du laminoir ou après le recuit, les bandages sont généralement un peu ovales, gauches, coniques à l'intérieur. Pour les régulariser, on les engage sur des mandrins segmentés en fonte dont le centre évidé reçoit un coin conique (*fig. 1* et *2*, *pl. 18*) permettant de faire varier le diamètre extérieur du mandrin de quelques millimètres.

Le bandage, encore chaud, emboîte le mandrin librement, puis en engageant le coin, on produit un certain serrage qui, prolongé pendant quelques minutes, régularise la concentricité. Le coin est ensuite dégagé pour éviter un serrage trop fort et permettre le refroidissement sans déterminer de tension anormale. Le bandage, étant au rouge brun, est enlevé et refroidi lentement, si on ne lui fait pas subir de recuit; dans le cas contraire, il est porté au four à recuire, chauffé au rouge sombre pendant une journée et le refroidissement dure un jour ou deux.

Le mandrin *figure 1* est à cône actionné par une clavette. Celui *figure 2* est à coin prismatique C taraudé et emboîtant une vis V reliée à la tige d'un piston hydraulique ou à vapeur exerçant l'effort de traction nécessaire pour écarter les secteurs, ou celui que nécessite le relèvement du coin. Ce mandrin comporte deux séries de secteurs, B et D, à joints en recouvrement réciproque. L'assemblage à vis de la tige V et du coin C permet de régler avec précision le diamètre du mandrin pour une course déterminée du piston hydraulique.

Cette disposition du mandrin convient mieux que la précé-

(1) L'usine de Melrose a construit dernièrement un nouveau laminoir actionné par une machine compound de 1500 poncelets en vue de réaliser une économie de 20 à 30 0/0 sur le prix de revient par rapport à celui de l'installation primitive.

En France, le prix des bandages pour roues de wagons est tombé à 20 francs les 100 kilogs.

Digitized by Google

dente lorsqu'un bandage, trop petit de quelques millimètres, doit être agrandi en diamètre.

Il faut opérer au début du mandrinage, quand la pièce est à haute température encore, en maintenant un serrage suffisant jusqu'à ce que l'on juge que le métal s'est assez allongé et que la contraction de refroidissement donnera le diamètre voulu.

Avec ce type de mandrin, il suffit de rechanger les segments extérieurs D suivant les diamètres des bandages, les segments R restant en place.

Avec un bon laminoir, la proportion des retouches ne s'élève guère à plus de 10 0/0.

Calibrage des bandages par compression.

Le calibrage des bandages de diamètre un peu trop grand est obtenu par compression de la pièce dans des matrices actionnées par pression hydraulique puissante, l'opération se faisant à froid ou à une température élevée.

Les *figures 3, 4, 5* et *6* (1) montrent les deux matrices MM' devant agir de concert avec un mandrin intérieur constitué par le type de roue auquel le bandage doit servir. Les *figures 7, 8* et *16* se rapportent aux dispositions d'une presse à restreindre les bandages, opération qui peut aussi, comme l'indiquent les *figures 9* et *10*, être appliquée pour assurer une bonne tenue du bandage achevé sur la roue qu'il garnit.

Les matrices sont aussi en quatre parties *(fig. 11* et *12)* ou en huit parties *(fig. 14)*; la *figure 13* montre une disposition de presse dont le plateau P porte les éléments du mandrin coniques extérieurement, éléments emboîtés par la couronne E de manière à développer une pression énergique sur la pièce à restreindre.

Si le diamètre doit être fortement réduit, on se sert de deux ou plusieurs mandrins à diamètres décroissants et on opère en

(1) Brevet Robertson du 31 mai 1868.

Digitized by Google

plusieurs fois. Les *figures 15* et *20* sont des variantes des dispositions des mandrins et de la presse.

Lorsque le diamètre intérieur d'un bandage est un peu trop grand, on peut encore le restreindre, en chauffant la pièce au rouge, puis en l'immergeant dans l'eau sur la moitié de sa hauteur ; la contraction de la partie refroidie détermine un rétrécissement de la partie chaude ; celle-ci continuant à se refroidir se contracte et accuse un diamètre plus petit.

Opérant en sens inverse sur réchauffage nouveau, on obtient une diminution de diamètre de l'autre côté. En renouvelant l'opération à diverses reprises, on peut réduire le diamètre de quelques millimètres, ce qui suffit ordinairement.

Ce même procédé est employé pour faire disparaître le cône d'un bandage ou lui en donner.

Un bandage chauffé quarante-trois fois, refroidi dix-neuf fois du côté du boudin et vingt-quatre fois de l'autre côté, a perdu 14^{mm} de son diamètre qui était de 825^{mm}. Il y a à craindre le dessoudage des mises, si le bandage provient d'un paquet soudé, ou les tapures si c'est de l'acier, et cela au moment où le métal passe par une période critique de ductilité dont on peut prévenir partiellement les effets, en opérant de manière que le bain d'eau possède une température aussi élevée que possible vers la fin de l'opération, soit lorsque le métal est à une température voisine de 300°. Au-dessous, le péril de rupture n'existe plus, le bain peut être refroidi par une addition d'eau.

Mandrinage et restreignage à chaud (1).

La régularisation d'un bandage est aussi obtenue en le chauffant sur un foyer circulaire *(fig. 21* et *22)* et en disposant des mandrins extérieurement.

Le bandage est placé sur une couronne F. Des mandrins segmentés B sont disposés à égale distance autour du bandage.

(1) Brevet W. Brierley, 7 juillet 1880. *Engineering*, 11 février 1881.

Ces mandrins s'appuient sur et contre une forte couronne C capable de résister aux efforts qui se développent quand le bandage, chauffé suffisamment, s'applique contre les mandrins B que l'on déplace à volonté, pour les mettre en face des parties formant bosses extérieures à régulariser.

On conçoit qu'en réglant convenablement l'effet de la dilatation et de la compression sur les mandrins, on puisse rectifier les défectuosités.

Ce procédé est à recommander lorsque le bandage trop grand doit être réduit en diamètre. Il est préférable à celui du refroidissement partiel.

Organes de rotation divers.

Parmi les nombreux organes de rotation désignés sous les noms de cylindres, volants, poulies, plateaux, galets, engrenages, etc., quelques-uns seulement se fabriquent en métal forgé et d'une seule pièce.

Le plus souvent ces organes sont composés d'éléments simples reliés entre eux par des rivets et des boulons *(fig. 27* et *28)*.

S'il s'agit de petits volants, de plateaux à bras ou à toile pleine *(fig. 23* à *26)*, le travail de forgeage consiste dans la préparation d'un paquet à éléments appropriés que l'on soude en matrices ou à l'enclume, en suivant les procédés adoptés pour les roues de véhicules.

S'il s'agit de poulies à bras en fer et moyeux en fonte, les rais sont cintrés ou fendus et repliés, la jante est cintrée à la machine aisément, puis rivée aux rais pour placer l'ensemble dans le moule du moyeu et sceller les extrémités des rais dans la masse.

Une fabrication américaine consiste à former les bras et le moyeu par des couples de pièces provenant *(fig. 29* et *30)* d'un plat découpé, poinçonné et fendu pour obtenir ensuite l'écartement des parties formant les bras. La jante *(fig. 31)* est une tôle cintrée avec bords repliés, sertis. Le moyeu comprend éga-

Digitized by Google

lement des éléments de tôle emboutis qui emboîtent un demi-cylindre formant couvre-joint d'assemblage. La jante présente au milieu et à l'intérieur une côte pliée, sertie pour y river les bras et les couvre-joints des deux moitiés de poulie.

Il ne nous paraît pas nécessaire d'entrer dans plus de détails sur la confection de ces organes généralement constitués en métal fondu.

Câbles métalliques.

Les câbles formés de fils métalliques donnent lieu à des procédés d'exécution sans enlèvement de matière, qui se basent sur la torsion de fils entre eux, sur l'entrelacement des éléments.

De même que les câbles en textiles, ceux en fils métalliques sont ordinairement constitués par plusieurs torons de plusieurs fils, les torons étant ou non pourvus d'une âme en chanvre *(fig. 1, pl. 19.)*

Ces câbles sont des organes de traction, de transmission de l'énergie mécanique ou électrique.

On assemble encore par les mêmes procédés deux ou plusieurs fils armés de picots et constituant de petits câbles pour clôtures *(fig. 8.)*

La câblerie métallique présente, depuis quelques années, une importance qui grandit de plus en plus et qui a motivé la création d'usines spéciales mettant en œuvre un tonnage considérable de fer, d'acier doux et de cuivre, livré par les tréfileries à toutes dimensions.

Machine à câbler les fils métalliques.

La formation des torons d'un câble métallique et la réunion des torons entre eux sont des opérations analogues qui consistent à réunir par torsion des fils simples dans le premier cas, des fils déjà câblés dans le second cas.

Digitized by Google

L'opération mécanique comporte ordinairement la mise en bobine des éléments à câbler.

Les bobines sont disposées en U, U^1, U^2 *(fig. 2)* (1) sur des supports. Les fils ou torons se déroulent des bobines en se dirigeant vers la direction supérieure en passant par un guide Z et en recevant une torsion produite par la rotation d'un plateau P reposant sur le croisillon R *(fig. 3* et *7)* et sur lequel se trouvent placés les engrenages A, B, C, D. Celui A, qui est supérieur comme celui B, glisse dans une rainure S *(fig. 4)* et tourne sur l'engrenage E, qui reste fixe sur l'arbre central; il donne le mouvement à l'engrenage B, qui le transmet à l'engrenage D et celui-ci à l'engrenage C. Ce dernier tourne sur l'engrenage mobile H et détermine ainsi le mouvement de torsion.

On augmente ou on diminue ce dernier en faisant glisser l'engrenage A dans la glisserie S et en remplaçant à volonté l'engrenage B par d'autres engrenages plus ou moins grands. La vitesse est ainsi accrue ou diminuée et transmise aux engrenages T, T^1, T^2, T^3 sur lesquels reposent les chaises portant les bobines U, U^1, U^2...

Les engrenages K, K^1, K^2 tournent sur l'engrenage central H et transmettent le mouvement aux châssis porte-bobines.

On peut ainsi faire varier à volonté la torsion, exécuter des câbles ou de la ficelle métallique (2) de la même manière que l'on câble les matières textiles, en employant un nombre de bobines à volonté, dont une placée en A^1 sert pour l'âme du câble lorsque celui-ci en comporte.

Le câble ou toron, après avoir passé sur la poulie supérieure, est enroulé sur un tambour H′ dont la vitesse est réglée à volonté et de là descend sur la bobine L′.

---

(1) Brevet à MM. Stievenart et Cambier, du 30 juin 1877.

(2) Depuis quelques années certaines câbleries fabriquent de la corde, de la ficelle, avec des fils d'acier doux de quelques dixièmes de millimètre de diamètre et qui sert à de nombreuses applications dans les ligatures de résistance.

Pour la formation des câbles, on peut enlever l'engrenage B, la machine tourne alors sur l'engrenage H, celui E devenant inutile. La commande peut se faire dans les deux sens.

Fils barbus et ronces artificielles.

Les fils barbus employés pour clôtures sont câblés à deux. Ce sont des fils de fer ou d'acier doux de 2 à 4^{mm} de diamètre tordus et réunis à des intervalles de 0^{m},12 à 0^{m},20 par des petites rondelles d'acier à 3 ou 4 pointes, ou par deux anneaux formés de fil tordu enroulé, présentant deux ou quatre pointes également *(fig. 8)*.

Ces garnitures empêchent la détorsion du fil en cas de rupture et la défendent contre l'attaque des animaux.

Le fil barbu proprement dit *(fig. 9* et *10)* est unique, de section en croix, pourvu de pointes saillantes, obtenu par laminage.

A la sortie des cylindres, le fil encore chaud reçoit une torsion à longue hélice qui le raidit en tous sens et dirige les pointes également en toutes directions.

Ces fils sont galvanisés pour leur assurer une longue durée (1).

La ronce artificielle est fabriquée mécaniquement au moyen de machines dont les opérations finales sont la torsion des fils et l'enroulage du câble, qui s'effectuent simultanément.

L'enroulage se fait sur bobine ordinaire ou sous forme de pelote qui ne nécessite pas de charpente particulière, cet enroulement ayant la propriété de se soutenir lui-même.

La machine à enrouler *(fig. 11)* produit l'opération sous une tension réglée automatiquement (2).

---

(1) C'est vers 1874 que ces fils de clôtures furent imaginés aux États-Unis. La production, qui était de 5^{t} à cette époque, s'élevait à 40.000^{t} en 1880. puis à 100.000 en 1883.

Aujourd'hui il serait difficile de l'estimer pour les divers pays qui le fabriquent par millions de tonnes.

(2) Machine Gauchot. Brevet du 1er juin 1889.

Digitized by Google

La pelote ou la bobine est portée par un axe A pouvant tourner dans les bras d'un cadre B, qui tourne lui-même, pour opérer la torsion, sur des tourillons creux. Il est commandé par des poulies fixe et folle DD'.

Le tourillon C laisse passer un arbre E, terminé à une de ses extrémités par une vis F; cet arbre reçoit à l'autre extrémité l'action d'un contrepoids G. Vers le milieu, il porte un galet de friction H commandé par un disque I, qui reçoit le mouvement d'une poulie J portée par le cadre et des poulies de renvoi KK'. La vis F commande l'arbre L et, par l'intermédiaire M, la roue N portant la bobine ou la pelote.

La position du galet sur le disque règle l'équilibre entre la torsion sous laquelle l'enroulement s'effectue et l'action du contrepoids; si cette tension augmente ou diminue, le contrepoids monte ou descend jusqu'à ce que la position du galet sur le disque corresponde à un nouvel équilibre; la vis fait office de crémaillère pour équilibrer, et de vis pour commander la rotation.

Cet équilibre est incessamment rompu par l'accroissement du diamètre de la bobine ou de la pelote, ce qui amène insensiblement le galet H près du centre du disque à la fin de l'opération.

Si les fils provenant de la machine à picots s'arrêtent, l'enroulement ne se produit plus, la vis continuant de tourner recule en relevant le contrepoids qui, par la bielle O, agit sur la détente P de la fourchette qui retient la courroie sur la poulie calée et laisse agir un ressort permanent qui la ramène sur la poulie folle. Un compteur règle également la longueur du fil enroulée, et agit sur le mécanisme d'arrêt de la machine.

Le mécanisme formant spécialement la pelote comprend un levier R *(fig. 12)*, portant un galet S dirigeant le fil; ce levier est commandé par la bielle T et une manivelle U recevant son mouvement de l'arbre L. La manivelle fait à peu près le même nombre de tours que la pelote de manière à superposer

Digitized by Google

les spires de couche en couche ou de deux couches en deux couches. La forme de la pelote est variable avec l'angle décrit par le levier R.

Clôtures en grillage.

On emploie aussi pour clôtures des grillages en fer galvanisé dont la fabrication donne lieu à l'application des procédés de tissage par entrelacement avec torsion des fils, comme l'indique la *figure 13*.

La fabrication est basée sur ce principe que deux navettes porte-fil A et B *(fig. 4, pl. 20)* tournant plusieurs fois autour d'un centre fictif, ou instable, forment une torsion complète des deux fils; si l'on suppose un nombre quelconque de navettes placées à côté l'une de l'autre et animées d'un mouvement giratoire, on obtient un certain nombre de torsions, qui, répétées, donnent lieu à une série de mailles rangées l'une à côté de l'autre.

La navette se compose d'une tige de fer carrée et d'une culasse reliées entre elles par deux joues de tôle formant cloison; c'est dans cet intervalle que se place un enroule-fil composé de deux joues de tôle reliées entre elles par un disque de cuivre. Le fil s'enroule sur le disque entre ces deux rondelles ou joues. Cet enroule-fil exécute un mouvement de rotation sur son axe pour permettre au fil de se dérouler et de venir passer par un petit pertuis situé à l'extrémité de la tige de fer.

Les machines pour la fabrication du treillage comportent *(fig. 1 à 8, pl. 20)* (1) une série de navettes placées horizontalement à côté les unes des autres et leur nombre est proportionné à la dimension des mailles et à la largeur de la pièce à exécuter.

On leur donne un mouvement quadrangulaire en les soulevant successivement et en leur faisant suivre à la suite l'une de l'autre les mouvements de déplacement et de soulèvement

(1) Machine Le Blon et Doyère. Brevet du 6 décembre 1876.

Digitized by Google

déterminés par les flèches *(fig. 5)*, et cela autant de fois qu'il est nécessaire pour obtenir une torsion plus ou moins longue. Si l'on considère qu'un grand nombre de navettes peuvent agir ainsi en même temps, on a le mouvement général du sys tème.

Les organes mécaniques comprennent un porte-prisme 30 *(fig. 2)* se composant d'une pièce de fer sur laquelle sont découpés des prismes de fer donnant la forme à la maille.

Ces prismes sont posés les uns à côté des autres, de manière que leur angle saillant forme le centre de la torsion des fils.

Le porte-prisme se renverse en arrière à un certain moment pour avancer la maille ; de plus, il a un mouvement de recul de plusieurs millimètres à chaque torsion ; il en a encore un troisième de déplacement latéral horizontal.

Les mouvements sont commandés :

1° Le mouvement de pivotement sur son axe, par l'excentrique 40.

2° Le déplacement latéral par la roue à sillons 35.

3° Le soulèvement de la navette est obtenu sous l'influence des roues et pignons 2, 3, 4, 5, une came 39 soulève un peu la plaque mobile 46 placée sur la bascule à pivot 7, faisant pivoter deux équerres 47, 47′ poussant deux bielles 48, 48′ faisant pivoter les pinces 49, 49′.

Ces pinces saisissent un certain nombre de navettes, la 2ᵉ, la 4ᵉ, la 6ᵉ, et les serrent par leurs extrémités, l'excentrique 39 les faisant basculer.

Le tout étant à ce point de hauteur, le châssis 16-17 se déplace de droite à gauche avec toutes les navettes soulevées. Ce déplacement est produit par la roue 36, 36′. La came 39 continuant son mouvement, la bascule redescend, les pinces s'ouvrent, abandonnent les navettes qui sont déposées sur les support-peigne.

Mais, pendant que ce mouvement s'exécute, les navettes impaires se déplacent latéralement à leur tour. Le châssis dépla-

Digitized by Google

ceur 18-19 est composé de deux pièces ou joues de fer reliées par des entretoises, et deux peignes 23-24. Ces peignes sont, au début du mouvement, sous les navettes 1, 3, 5, etc.

Le châssis pose les navettes impaires là où étaient les navettes paires; en même temps le châssis porte-bascule se déplace de gauche à droite, et lorsque la came recommence son mouvement ascensionnel, les pinces saisissent les navettes impaires pour les reporter à leur première place, tandis que le déplaceur simple ramène les navettes impaires à leur position première; et la série des mouvements recommence jusqu'à ce que l'on ait obtenu autant de torsions que l'on désire.

A chaque torsion se produisent deux mouvements indépendants de traction sur la pièce. Ces mouvements sont petits, l'un s'opère par la came des prismes 40, qui recule de quelques millimètres à chaque torsion, et qui ensuite fait basculer le porte-prisme 35, quand les torsions voulues sont accomplies. D'autre part, à chaque torsion, l'excentrique 41, poussant par un bouton sur la bielle 42, permet le soulèvement d'un cliquet 43′ qui, placé sur une bascule 43′ armée d'un poids, fait avancer la roue à rochet 44 fixée sur un rouleau attireur 45 muni de pointes, et qui fait avancer la pièce au fur et à mesure de la torsion.

Quand la torsion est finie, le poids fait avancer la pièce de la quantité voulue pour qu'une maille soit finie.

Après que le porte-prisme a basculé en arrière pour permettre le passage de la pièce, la roue à sillons 35 le déplace d'une quantité donnée pour venir se placer à un point formant le centre d'une nouvelle torsion. Les mouvements se continuent ainsi et à chaque torsion le fil est attiré hors des navettes de la quantité voulue.

Afin d'opérer plus rapidement, cette machine a été modifiée suivant disposition *(fig. 8)*, le principe de fabrication consistant à soulever les navettes par quatre paires à des hauteurs différentes et par gradins, de telle façon qu'arrivées à ces hauteurs,

Digitized by Google

elles puissent (accolées deux par deux) pivoter rapidement et accomplir les torsions exigées, soit dans un sens, soit dans l'autre.

Cette machine comporte deux grandes roues A *(fig. 8)*, munies chacune sur leurs faces internes et externes de deux rainures excentrées BC. Dans la première, B, circule le galet du levier D dit basculeur, qui, au moyen de la bielle E, fait basculer le souleveur F'. Ce souleveur est disposé par gradins à l'avant et à l'arrière *(fig. 7)*, de manière qu'il commence par soulever dans le même mouvement, mais successivement, la quatrième paire de navettes, puis la troisième, puis la deuxième et la première et ainsi pour toutes les navettes, afin qu'elles soient élevées comme l'indiquent les chiffres *(fig. 8)*. Quand elles arrivent à leur position, chaque paire de navettes est saisie par une sorte de pince automatique P *(fig. 8)* qui est dépendante d'un pignon fixé sur le bâti *(fig. 7)*, lequel est mû par une roue dentée p' reliée elle-même à une crémaillère K.

Cette crémaillère est elle-même en mouvement par deux bielles q, q' et un levier coudé L, dont le galet M entre dans une rainure excentrique placée sur la face interne de la roue.

Les courbes de ces rainures sont ainsi disposées, que lorsque leur souleveur a mis toutes les navettes dans leurs positions respectives, de façon que leurs culasses soient bien saisies par les pinces-pignons, la crémaillère alors que sa bielle et son levier, dont le galet entre dans cette rainure, est poussée en avant ou en arrière, suivant le cas, et communique un mouvement de rotation à la roue dentée, puis à toute la série de pignons, et par conséquent à toutes les navettes; on comprend alors comment elles peuvent exécuter les torsions avec une grande rapidité.

Les torsions étant accomplies, le souleveur baisse; il se déplace latéralement et va sous d'autres paires de navettes, pour les soulever encore, et ainsi de suite par déplacement latéral alternatif et mouvement de montée et de descente par

Digitized by Google

gradin, afin qu'elles puissent exécuter librement un mouvement entièrement rotatif autour de l'axe qui les accouple, et transforme ainsi en un mouvement circulaire continu l'ancien mouvement des navettes, ce qui constitue un grand perfectionnement de la machine.

Machine à faire le treillis métallique. Modèle de M. Thomée (1).

La machine *(fig. 9 à 28, pl. 20)* est disposée pour faire le treillis en fil métallique à mailles hexagonales. Les organes formant le treillage sont des petits cylindres A *(fig. 24 à 28)* ajustés dans le lit de la machine en une seule ligne et côte à côte; leur nombre est égal au nombre de mailles que doit comporter le treillis.

Les divers fils viennent directement de bottes ajustées sur des bobines, qui se déroulent pendant l'opération.

Chaque cylindre A porte une pièce coulissante C et un tiroir D qui alternent entre eux *(fig. 17)*; pendant la marche, les tiroirs passent, à cet effet, après chaque formation d'un entrelacement, d'un cylindre dans le cylindre voisin.

Au moyen d'une crémaillère F *(fig. 14 à 16)*, tous les cylindres A peuvent être mis en rotation dans l'un ou l'autre sens, rotation à laquelle participent les pièces C et les tiroirs D.

La formation des entrelacements se fait exactement dans le prolongement des axes des cylindres A, en sorte que, après la confection d'une rangée de ces entrelacements, le treillis doit être déplacé à droite ou à gauche. Dans les *figures 23 à 28*, la formation du treillis dans ses différentes phases successives est représentée sur les quatre derniers cylindres A situés à gauche.

Dans la *figure 23*, la formation d'une rangée d'entrelacement vient d'être terminée et les cylindres A ont terminé leur rotation à gauche.

Un tour des cylindres produit le simple entrelacement

(1) Machine de M. Thomée. Brevet du 12 novembre 1885.

Digitized by Google

(fig. 25). Les tours suivants dans la même direction complètent l'entrelacement *(fig. 26)*.

Ensuite l'ensemble des pièces C et D rétrograde vers la droite *(fig. 27)* et la rotation des cylindres se faisant dans la direction opposée, les fils, tout en étant constamment attirés en l'air par le cylindre à chevilles, sont de nouveau réunis *(fig. 28)* et, après deux autres tours, la position primitive représentée *figure 23* est rétablie.

On voit que l'entrelacement des fils se fait alternativement vers la droite et vers la gauche.

La rotation des cylindres A et le déplacement des pièces C et D sont deux opérations qui s'effectuent alternativement par divers organes de commande que nous ne pouvons signaler ici, les dessins peuvent d'ailleurs suppléer à la concision de cette description d'une fabrication que nous avons simplement signalée pour ne rien omettre du travail des métaux sans enlèvement de matière.

Filets pare-torpilles.

Les filets pare-torpilles, en fils d'acier de grande résistance, ont également donné lieu à une fabrication spéciale qui se fait dans les grandes usines métallurgiques (1). L'exécution de ces réseaux présente de grandes difficultés à cause de la nécessité d'obtenir des couronnes sans fin rattachées par les maillons.

Les treillis s'exécutent encore en métal dit déployé, c'est-à-dire en déplaçant par compression énergique le métal d'une tôle de fer très mou à la manière d'une pâte de gaufre, puis en enlevant à l'emporte-pièce la paroi amincie des petits cloisonnements entre les nervures formées (2).

---

(1) La Compagnie de Châtillon et Commentry a été, jusqu'à ces dernières années, la seule à les fabriquer en France.

(2) Procédé Golding. *Revue technique* de décembre 1896.

Digitized by Google

Chaînes.

Les chaînes en métal forgé sont les plus employées, soit comme organes de tenue, de traction ou de transmission. On peut distinguer :

1° Les chaînes à maillons agrafés;

2° Les chaînes à maillons rivés;

3° Les chaînes à maillons articulés;

4° Les chaînes à maillons soudés;

5° Les chaînes dites sans soudure.

Les chaînes à maillons agrafés sont les plus anciennes; elles se fabriquent ordinairement en fil métallique (fer, cuivre, laiton) et présentent les types indiquées *planche 21*.

Chaînes à agrafes.

Depuis longtemps les chaînes à agrafes se font mécaniquement. Indiquons la façon de procéder pour les chaînes de Vaucanson (1).

Les opérations successives de fabrication d'une chaîne type Vaucanson comportent :

1° Le dressage du fil;

2° Le pressage du fil une fois amené;

3° Le coupage à la longueur nécessaire pour la formation du maillon;

4° Le pliage pour amener ce fil coupé à longueur à présenter la forme en U ;

5° Le formage ou transformation de l'U ;

6° Le courbage ou formation des boucles;

7° L'entraînement du maillon exécuté.

Dans la machine *figure 36* à *40*, *pl. 21* (2), le dressage du fil s'exécute à mesure de l'amenage intermittent du fil métallique

(1) La chaîne dite de Vaucanson et celle dite de Galle étaient connues longtemps avant l'existence de ces mécaniciens. Léonard de Vinci (XVe siècle) en avait fait les croquis dans ses écrits.

(2) Machine de M. Boisset. Brevet du 3 mai 1876.

Digitized by Google

entre les galets dresseurs *g* (*fig. 38*) qui se règlent suivant la grosseur du fil.

Le fil ayant été engagé à la main entre le galet *a* et la petite pièce *b* (*fig. 38*), cette pièce, à l'aide du ressort *c*, presse le fil contre le galet *a*. Or, ce galet *a* ainsi que la pièce *b* sont montés sur des axes fixés sur un chariot D lié au levier E; ce levier E étant commandé par la came F, il en résulte un mouvement de va-et-vient du chariot D; ce mouvement fait avancer le fil sans le faire revenir en arrière. A cet effet, la pièce *b* est excentrée par rapport à l'axe autour duquel elle pivote; elle est constamment sollicitée par le ressort *c*; cette pièce *b* butte sur une pièce G, que commande la came H par son pourtour, de telle manière que, quand le chariot avance, le fil se trouve en prise par la pression qu'exerce la pièce G sur la pièce *b*, alors que, quand le fil est arrivé sous le levier I ou presseur, qui à ce moment exerce son action sur le fil au moyen de la came J, la pièce G se recule; il en est de même de la pièce *b*, qui abandonne le fil pour le reprendre au mouvement suivant.

Le levier E d'amenage est de longueur variable à volonté, afin de pouvoir satisfaire à plusieurs numéros de chaînes, qui se fabriquent sur la même machine.

Le fil étant sous le presseur I, celui-ci s'abaisse et le chariot d'amenage recule. L'extrémité du fil est venue contre une butte b^1 qui se règle à volonté, suivant la longueur, au moyen de la boutonnière b^2.

Le presseur pesant sur le fil, celui-ci est coupé par un couteau C dont le chariot est actionné par le levier B mû par la came A'.

Pour la formation des maillons, trois mouvements distincts ont lieu.

Aussitôt que le fil est coupé, les deux pièces LL' placées symétriquement par rapport au presseur, décrivent chacune autour de l'axe de l'arbre, sur lequel elles sont montées, un arc

Digitized by Google

de cercle suffisant pour que la portion de fil pressée, de droite qu'elle était, se forme en U.

Le mouvement des pièces LL′ est obtenu au moyen de la came H *(fig. 38)* rainée à cet effet à l'intérieur, et qui, en agissant sur la bielle H′, fait décrire à la manivelle H^2 un arc qui se reproduit en sens contraire sur les pièces LL′, fixées sur le même arbre que la manivelle H^2.

Arrivées à bout de course, les pièces LL′ reviennent vivement à leur position première, afin de laisser au formeur la place libre pour opérer son action.

Ce formeur, qui a pour but de déprimer les angles de l'U pour lui donner la forme *figure 41*, est composé de deux leviers MM′, pivotant autour de deux axes emmanchés dans de longues douilles destinées à les guider convenablement.

Chacun de ces deux leviers reçoit le mouvement d'une bielle unique commandée par la came N′; cette bielle, terminée du côté des leviers MM′ en forme de T, reçoit à chacune des extrémités de sa branche transversale une pièce destinée à donner le mouvement à l'un des leviers. Ainsi M^2 articule M, tandis que M^3 donne le mouvement oscillatoire à M′.

Par l'action de la came N′ sur la bielle N, les leviers MM′ décrivent de petits arcs de cercle qui ont pour but de les amener en contact avec le fil et de le maintenir fortement une fois la pression suffisante opérée pour amener les angles de l'U dans la position voulue. A cet état, le fil est toujours dans un plan et il s'agit de former les boucles qui recevront le maillon suivant.

Cette opération est faite par une pièce dite : courbeur. Le courbeur C′ est excentré par rapport à l'axe de la manivelle recevant son mouvement d'un secteur denté I′ commandé par une came I^2, et qui agit sur un pignon I^3 emmanché sur l'arbre qui porte la manivelle. Le courbeur se présente sur le fil, et quand celui-ci est bien maintenu par le presseur d'une part, et le formeur d'autre part, le courbeur achève son action en formant les boucles. Le maillon est alors fermé, et il ne reste

Digitized by Google

plus qu'à l'amener en arrière, d'une quantité suffisante, pour que le fil qui va être emmené s'emmanche facilement dans l'ouverture laissée libre en dedans de la boucle.

Le courbeur revient en place et les deux leviers MM' abandonnent le maillon par un mouvement en arrière de la bielle N; le presseur abandonne aussi le maillon; puis la came O^2, en agissant sur le bas du levier O' (*fig. 36* et *38*), fait imprimer à l'axe O^3 un mouvement qui se communique à la pièce O, formée de deux pièces distinctes; l'une, O, fixée sur l'arbre O^3; l'autre, P, pouvant tourner autour de *p*, qui traverse l'extrémité de O et qui se trouve sollicitée par un ressort *p'* tendant à la ramener toujours dans la position indiquée *figure 39*. On comprend que, par le jeu de la came O^2, la pièce O, en s'inclinant par un léger mouvement de rotation, vienne par son extrémité P, s'engager dans un des maillons déjà faits de la chaîne, et que le mouvement continuant un instant, elle entraîne la chaîne d'une quantité déterminée, qui suffit à amener la boucle du maillon qui vient d'être fait en face du fil qui va être amené; cela fait, la pièce O remonte et si le maillon qui suit celui dans lequel la partie P était engagée vient butter sur P, cette petite pièce s'incline en faisant fléchir le ressort *p'*, qui a pour but de la rappeler dans sa position primitive une fois le maillon échappé.

Cette dernière opération faite, l'amenage agit de nouveau pour faire avancer le fil qui, pressé et coupé, laisse à la disposition des organes indiqués ci-dessus un bout qui se transforme, à son tour, en un nouveau maillon lié au premier et prêt à en recevoir un suivant, et ainsi de suite.

Fabrication de la chaîne-forçat.

La chaîne dite forçat est façonnée à la machine (*fig. 42* à *54*) (1). Le fil métallique placé sur un dévidoir A est entraîné par un mandrin B, auquel on donne, sur une certaine longueur, la

(1) Brevet de M. Jesson du 11 mars 1878.

Digitized by Google

configuration correspondant à la forme du maillon (*fig. 53* et *54*). Entre le dévidoir A et le mandrin B est placé un dresse-fil C comprenant trois galets disposés en quinconce. Un bassin D, rempli d'huile, sert à graisser le fil.

Le mandrin B est animé d'un mouvement de rotation intermittent, il est percé d'un trou ou d'une rainure pour loger ou fixer le fil et pouvoir l'enrouler en le forçant à pénétrer dans une filière K, d'où il sort sous forme d'hélice de pas allongé (*fig. 47*).

L'écartement des spires est indispensable pour permettre au maillon en cours de confection de pénétrer dans le dernier maillon exécuté, celui-ci étant suspendu à hauteur convenable par un crochet M (*fig. 48*). Lorsque le maillon a pénétré dans le maillon précédent, le crochet M se retire et occupe la position (*fig. 50*) en ayant fait un quart de tour.

Le maillon en formation est ensuite coupé sur le mandrin B par un couteau monté sur levier O (*fig. 50*). Un support P maintient le fil et sert de matrice pour serrer le maillon avec le buttoir R.

Chaînes à boucles.

La chaîne à boucles (*fig. 1, pl. 22*) se fabrique mécaniquement. Le fil métallique est soumis successivement à l'action d'un dresseur, d'un ameneur, d'une cisaille et des fermeurs qui l'amènent progressivement sous forme de maillons complètement achevés et émaillés sur une longueur indéfinie (1). Le dressage se fait entre des galets disposés sur une table de la machine dont nous ne donnons pas le dessin d'ensemble. Au sortir de la dresserie, un ameneur saisit le fil d'une façon alternative et le présente à la cisaille qui en coupe la longueur voulue.

Le bout de fil coupé est transformé en maillon à deux boucles circulaires situées rectangulairement, au moyen des outils *figures 2, 3* et *4*, comprenant une roue E percée de mortaises

(1) Brevet Marquis du 18 octobre 1887.

Digitized by Google

radiales recevant chacune un goujon en acier G, et pourvue à sa circonférence d'entailles semi-cylindriques C; les diamètres des goujons et des entailles correspondent à ceux des boules. Un encliquetage produit la rotation intermittente de la roue E; une came A soulève au moment voulu chaque goujon. Les outils M se déplacent pour former la boucle horizontale, puis l'outil N forme la boucle verticale qui est fermée par un deuxième outil.

La chaîne est dégagée de la roue E et s'enroule sur une bobine.

Maillons en 8

Les chaînes à maillons agrafés en forme de 8 ne se font guère que dans les petites dimensions.

Les maillons sont façonnés à l'aide de petites machines comprenant, par exemple *(fig. 5, 6, 7 et 8)*, un mandrin fixe A, une bague B pouvant tourner librement sur le mandrin A. Deux coulisseaux courbeurs CC′ montés sur des axes DD′ et reliés à la bague B par les guides GG′ logés dans la rainure de chaque coulisseau. L'extrémité de chaque coulisseau est arrondie et ils présentent un épaulement II′ contre lequel s'appuie le fil F devant former le maillon (1).

L'appareil étant disposé comme *figure 5*, si on fait faire au pignon P une rotation d'une demi-circonférence, le pignon entraîne la bague B, les coulisseaux courbeurs, entraînés par les guides GG′, pivoteront autour de leurs axes DD′ et enrouleront en sens inverse les extrémités du fil F en l'obligeant à prendre la forme en 8 *(fig. 6)*.

Le maillon étant enlevé, on ramène le pignon à son point de départ, on introduit une nouvelle longueur de fil, pour former un autre maillon. Les maillons sont ensuite agrafés et fermés.

---

(1) Brevet Laterrière du 23 juin 1874.

Digitized by Google

Les chaînes agrafées dans l'œil des types *(fig. 22, 23* et *24, pl. 22)* (1) ont leurs maillons débités dans des barres laminées *(fig. 9)* que l'on transforme, par une série d'étampages, en éléments de dimensions et de formes déterminées. Ainsi la *figure 10* montre la première ébauche.

Dans la *figure 11*, les boucles sont fendues au moyen de couteaux-poinçons *(fig. 11 bis)*.

La *figure 12* est la maille développée, finie à boucles ouvertes par les poinçons P *(fig. 12 bis)*. La maille ainsi obtenue en une chaude sur une ou deux tables d'étampes est parachevée dans une matrice qui lui donne la courbure *figure 13*. Après l'opération du galbage, la maille est détachée de la barre pour procéder à l'exécution d'une autre.

L'ébauchage se fait aussi au laminoir, mais les mailles sont moins précises, moins résistantes que celles faites au pilon ou à la presse.

La *figure 14* est la coupe des cannelures du laminoir alternatif *(fig. 15)* actionné par un mécanisme de bielle et manivelle. Ce laminage alternatif a particulièrement pour objet d'effectuer toutes les opérations nécessaires à l'obtention de la maille, le développement de l'arc des cylindres restant toujours le même quelle que soit la longueur des mailles (ce qui n'a pas lieu avec le laminage continu); de plus, les points morts permettent la représentation exacte des mailles dans les diverses cannelures que présentent les secteurs.

Cependant la première modification de forme de la barre *figure 10* est obtenue aussi par laminage continu entre les cylindres *(fig. 14)*, lorsque les autres opérations se font à l'étampe.

Les mailles sont ébarbées à la meule et subissent ensuite

(1) Ces types de chaînes ont été créés par M. David. Nous signalons les dispositions du brevet du 18 novembre 1878. (Un premier brevet remonte au 13 décembre 1869.) (M. David est un fabricant du Havre qui a fait progresser l'industrie des chaînes depuis 1830.)

Digitized by Google

l'opération du cintrage à chaud produit dans des étampes au moyen d'un mandrin ou frappe mobile P *(fig. 17)*. On détermine ainsi un certain refoulement, forgeage par martelage intérieur, qui a pour but d'éviter les contractions et les plissures des fibres intérieures de la tige, et leur allongement extérieur, défaut qui se produit dans le pliage ordinaire des chaînes soudées. Après son cintrage et de la même chaude, la maille est emmaillée et fermée sur la chaîne.

L'emmaillage a lieu soit sur une forme, espèce d'enclume D portant le poinçon D′ *(fig. 18)*, soit par la pression de deux mâchoires excentrées *(fig. 19)*.

La *figure 20* montre une boucle étroite et longue, qu'on élargit après l'emmaillage, en la forcant sur le poinçon *figure 20bis*, pour diminuer la longueur et élargir l'œil.

On obtient ainsi, d'une manière pratique et manufacturière, les divers types de chaînes : *figure 22*, dite rond ; *figure 23*, dite marine ; *figure 24*, dite Vaucanson.

Les nabots *(fig. 25* et *26)* ordinaires et celui à émerillon double à rotules pour raccordement *(fig. 27)* complètent les éléments de ces chaînes.

Les *figures 28* à *33* indiquent une variante des secteurs pour laminage alternatif d'ébauches que l'on achève en étampes *(fig. 32)*, et par pression hydraulique, lorsqu'il s'agit des grosses dimensions. Pour petites mailles de fabrication rapide, on emploie le laminoir continu à cylindres *(fig. 34, 35* et *36)* donnant des pièces dont les bavures et toiles sont découpées et poinçonnées avec l'outil *(fig. 38)*. Puis les mailles sont finies à la meule, pour les grosses chaînes, au tonneau tournant avec émeri et sable pour les petites.

La chaîne agrafée a quelquefois une ébauche sans jonction des branches *(fig. 42, 43* et *44)*. Les chaînes agrafées et repliées sont plus solides que les chaînes soudées et on peut s'étonner qu'elles ne leur soient pas préférées dans la plupart des applications.

Digitized by Google

Chaînes à maillons rivés.

Le procédé de rivetage s'applique à des chaînes du type formées de maillons soudés ou fondus, reliés deux à deux par un maillon rivé constitué par une lame de tôle courbée et dont les extrémités sont rivées à recouvrement.

C'est une chaîne mixte, employée dans quelques cas particuliers, de même que la chaîne rivée proprement dite, qui est formée *(fig. 45 à 53)* (1) de demi-maillons tubulaires reliés par emboîtement direct avec parties serties, ou par emboîtement sur tige pleine à gorges pour le sertissage ou sur tige creuse.

Les deux parties du maillon peuvent encore être réunies par manchette extérieure emboîtant les pièces.

Ou encore, le maillon tubulaire est courbé et les extrémités sont rejointes par emboîtement direct ou par un raccord serti ou rivé.

Enfin, ce type de maillon peut comprendre une manchette de raccord soudée. Ces maillons tubulaires ont été proposés pour les fortes dimensions.

Chaînes à maillons articulés.

Ces chaînes, dites de Galle, comportent l'emploi de bandes de tôles de fer ou d'acier que l'on découpe et poinçonne à la machine, puis que l'on assemble avec des rivets tourillons ou broches pour former articulation de chaque élément.

La seule opération de forgeage à froid ou à chaud est la rivure des broches.

Ces chaînes présentent une grande sécurité si elles comprennent des lames multiples dont la détérioration partielle permet de constater si les éléments sont encore assez résistants ou s'il faut les remplacer.

---

(1) Chaîne de Siemens (1888).

Digitized by Google

Certaines chaînes d'attache *(fig. 54* et *55)*, comprennent des maillons en forme de brides B réunies deux à deux par des plaques latérales CC′ montées sur des broches A à têtes rivées.

Les brides B sont obtenues en découpant une bande de fer à la barre au moyen de cisailles, en contournant la bande à chaud et en soudant les extrémités sur amorces vers le milieu de la longueur de la maille-bride.

Chaînes à maillons soudés.

Les chaînes ordinaires à maillons soudés *(fig. 56)* ont été employées de temps immémorial dans les appareils de levage, les attaches de tiges de pompes, etc. ; puis, plus tard, vers le commencement de ce siècle, pour remplacer les câbles des ancres de vaisseaux, d'où le nom de chaînes-câbles donné aux fortes chaînes employées à cet usage, qui s'est très répandu et a déterminé la création d'usines spéciales particulièrement dans les ports de mer.

L'exécution des chaînes à maillons soudés est toujours sujette à caution, malgré tous les soins apportés par le forgeron pour assurer de bonnes soudures, malgré toute l'habileté qu'il possède à la suite d'une grande pratique, car il suffit d'une soudure défectueuse, d'une maille vicieuse pour affecter la sécurité de la chaîne.

Il faut faire emploi de fer de première qualité, se soudant bien, se déformant au cintrage sans criquer.

La fabrication des maillons soudés est simple, mais cependant très délicate ; les opérations se répètent constamment dans les mêmes conditions pour une même variété de chaînes. Elles comprennent :

1° Le découpage des éléments, qui se fait parfois encore au simple tranchet d'enclume pour les petites dimensions, mais mieux à la cisaille munie d'un guide de longueur.

Digitized by Google

2° L'amorçage des extrémités pour la soudure à recouvrement.

3° Le cintrage en U qui se fait au mandrin-griffe ou au mandrin à levier, à la température du rouge cerise ; le forgeron agit seul ou avec un aide pour cette opération.

4° Le soudage de la maille après l'avoir préalablement engagée dans le maillon précédent et avoir cintré les extrémités en recouvrement. La soudure se fait en plaçant le maillon dans une étampe de forme maintenant le métal latéralement lorsque le marteau agit à plat. Dans la même chaude, l'extrémité du maillon est arrondie et régularisée à l'étampe. Parfois la soudure à amorces est faite au milieu de l'un des côtés droits de la maille *(fig. 56)*. Ces chaînes se fabriquent aujourd'hui jusqu'à 100^{mm} de diamètre de fer ; cette plus forte dimension est employée pour les chaînes de grands navires.

Les grosses chaînes de marine avec étai donnent lieu aux opérations suivantes de soudage :

1° Un refoulage en matrice *(fig. 57* et *58)* des deux bouts du maillon ébauché sous la forme d'un U *(fig. 60)*. Le refoulage se fait simultanément par une frappe pleine plate qui donne avec la matrice la forme *figure 62*.

2° Un estampage du maillon à plat entre deux matrices dont l'une est représentée *figures 63, 64* et *66*.

Cet estampage, qui, par un seul coup de pilon, produit la soudure, s'effectue sur le maillon, dont on a, par une opération préalable, recourbé et rapproché les deux bouts renforcés et amorcés.

Avant de rapprocher les deux bouts du maillon à souder, on le passe dans le dernier maillon de la chaîne, et l'on rapproche ensuite les deux bouts du maillon de façon à l'insérer dans la gorge ovale de la matrice.

La *figure 66* montre l'évidement arrondi A destiné à comprimer légèrement les branches du maillon pour y fixer l'étai E. L'évidement A est répété de chaque côté de la matrice ; on

Digitized by Google

évite ainsi l'emploi d'une matrice spéciale pour exécuter cette troisième opération.

La chaîne ne pouvant être tenue comme dans la fabrication à la main par le maillon que l'on soude, par la raison que ce dernier est pris en entier dans la matrice, il a fallu combiner une tenaille spéciale pour le maintien vertical du maillon.

Cette tenaille est représentée *figures 67* et *68*.

Les deux extrémités recourbées des branches reliées par la tige articulée T sont introduites dans le maillon précédent, dont elles embrassent l'étai; on les fait presser contre les coudes de l'avant-dernier maillon formé et du nouveau maillon à étayer.

Le maillon étant bien placé de champ dans la matrice, on y insère l'étai, qu'un coup de pilon fixe et solidarise avec lui de la manière la plus parfaite.

Le principal avantage de cette méthode de fabrication consiste en ce que, en soudant le maillon, les matrices l'embrassent complètement, ce qui l'empêche de se déformer par la pression du marteau. Le fer subit une forte compression assurant ainsi une bonne soudure (1).

La fabrication mécanique des maillons soudés comporte :

1° Le découpage à la cisaille des bouts de fer;

2° Le cintrage;

3° Le soudage en matrices.

Le découpage n'offre rien de particulier.

Le cintrage se fait avec la machine *figures 69* à *72* (2) comprenant deux arbres horizontaux AB. Sur chacun de ces arbres est calée une came en acier CC' présentant en coupe transversale la forme allongée des maillons, et dans laquelle est gravée en forme de spire la demi-épaisseur du maillon. Ces deux cames sont disposées à angle droit l'une au-dessous de l'autre, c'est-à-dire que le grand axe de l'une corresponde au petit axe de l'autre, de telle sorte que, pendant la rotation de l'arbre infé-

(1) Brevet à MM. Marrel du 12 juillet 1869.

(2) Brevet du 29 mars 1883. Société des fonderies et forges de l'Horme.

Digitized by Google

rieur B, la came supérieure C reste constamment tangente à la came inférieure C'; elles sont, chacune, solidaires d'un engrenage EE' *(fig. 73)*, présentant la même forme, et disposés de la même façon l'un par rapport à l'autre.

La came inférieure C' porte *(fig. 72)* un doigt destiné à entraîner le fer; ce doigt se loge dans un évidement pratiqué dans la came supérieure de façon à ne pas gêner la rotation.

La came inférieure est divisée en deux parties; la partie de droite peut être éloignée d'une quantité suffisante pour laisser tomber entre elles le maillon ébauché.

C'est lorsque le doigt de la came inférieure C' se trouve engagé dans l'évidement de la came supérieure C que l'ouvrier introduit l'extrémité coupée en biseau du morceau de fer porté au rouge.

Ce fer est plié par la rotation de la machine, de telle sorte qu'il n'y ait plus qu'à en souder les deux extrémités, après avoir emmanché le maillon à souder dans le dernier maillon achevé.

A cet effet, le maillon porté au blanc soudant est disposé, comme *figure 77*, dans une matrice R *(fig. 74* et *76)*. Le piston hydraulique P est muni de la seconde matrice R' dans laquelle est gravée la demi-épaisseur de la moitié du maillon qui doit être soudé.

Un coup de presse suffit pour opérer la soudure parfaite des parties amorcées.

Chaînes soudées par chauffage électrique.

Les maillons de chaînes soudés par chauffage électrique ont donné lieu à la combinaison machinale *(fig. 1* à *4, pl. 23)* (1).

Le fil métallique est alimenté automatiquement par un appareil d'amenage redresseur *(fig. 11)*. Un outil B cintre le fil coupé par la cisaille à la longueur voulue, agissant chaque fois que l'arbre D opère une révolution. On obtient ainsi l'ébauche *(fig. 8)* qui s'engage dans le maillon précédent.

(1) Brevet à M. Collin du 17 août 1888.

Digitized by Google

Un transformateur électrique F est fixé sur le bâti, et ses bornes F′ sont terminées par deux crampons qui servent d'outils destinés à plier les deux extrémités du fil et qui doivent épouser exactement le contour du maillon formé. La deuxième opération *(fig. 9)* est ainsi obtenue et la soudure commence dès que les extrémités du fil rapprochées sont en contact.

Les bornes F′ du transformateur sont actionnées par deux excentriques, qui agissent comme leviers sur les branches H et qui sont mis eux-mêmes en mouvement par les cames I dont les ergots I′ doivent rester alternativement en contact sur les leviers K pendant la durée de la soudure.

A ce moment un maillon est formé et soudé; il reste à le dégager des bornes du transformateur et du mandrin, puis à entraîner la chaîne finie de la longueur de ce maillon, faire faire à celle-ci un quart de tour pour présenter à l'attente le maillon fabriqué le dernier.

A cet effet, l'arbre D tournant continuellement, les cames I échappent les leviers K, et les contrepoids L agissant, ils retombent sur les taquets I′, provoquant ainsi :

1° L'écartement des bornes;

2° Le recul de l'amenée du fil;

3° Le fonctionnement d'une crémaillère M agissant sur le pignon N, qui fait décrire à la douille O un quart de tour et provoque l'écartement des branches-tenailles P. Ce moment correspond au recul de la douille O obtenu par la came Q. Un contrepoids, suspendu en R à un fil enroulé sur la douille, la ramène à son point de départ, en même temps que les branches P se referment et viennent présenter dans le mandrin ouvert un maillon d'attente, qui n'est autre que le dernier fabriqué.

Tous ces organes agissent donc pendant une révolution de l'arbre D, et celle-ci correspond à la fabrication de chaque maillon.

La commande fait six tours par minute.

Un ouvrier peut surveiller cinq à six machines, car son rôle

Digitized by Google

se borne à débrayer la commande en cas de rupture d'un organe et à assurer l'alimentation du fil de chaque machine.

Suivant le diamètre et la nature du métal, les dispositions des organes doivent varier; c'est ainsi qu'au-dessus du fil de 4^{mm}, on doit disposer d'une forte pression, qu'au-dessus de 7^{mm} il y a avantage à employer une pression hydraulique prolongée suffisamment. Pour ce dernier cas, on est conduit aussi à changer le point de soudure des maillons qui, pour le petit fil, a lieu en A *(fig. 10)*, tandis que de plus gros fils donneraient, avec un cisaillement perpendiculaire au fil droit, une obliquité trop prononcée au point de jonction C. Pour parer à cette difficulté, le point de soudure se fait en B, où l'obliquité est faible.

La force des transformateurs varie, ainsi que leurs éléments constitutifs, en raison des diamètres à souder et aussi selon la dynamo qu'on emploie. Pour les petites dimensions, le fonctionnement des transformateurs est continu à pleine charge, tandis que pour les forts diamètres, il faut employer un commutateur puissant isolant le courant pendant les intervalles de repos des outils soudeurs. Le maillon est encore formé de deux demi-maillons soudés au milieu de la longueur de chaque branche. Le chauffage électrique se localise ainsi mieux aux points de soudure, ce qui importe surtout pour les fortes dimensions. A l'endroit des soudures il se forme un bourrelet qu'on laisse pour renforcer la partie, ou qu'on enlève s'il est utile. La fabrication mécanique des chaînes, de petites et moyennes dimensions, soudées à l'électricité se fait avec succès complet dans la région des Ardennes.

Les soudures ne sont plus des points faibles. Dans divers essais de rupture par traction ou par ouverture à outrance des maillons, que nous avons faits, nous avons pour ainsi dire toujours constaté que la rupture se faisait en dehors de la soudure. Notons que les services de l'artillerie française ont adopté, d'une façon exclusive, la chaîne soudée à l'électricité, pour toutes les petites chaînes.

Digitized by Google

Chaînes à maillons enroulés et soudés (1).

Dans cette chaîne, chaque maillon est formé d'une barrette métallique à extrémités en sifflet enroulée en plusieurs spires sur un cylindre, en guidant les spires par un rouleau de pression à rainure hélicoïdale, de façon à les maintenir écartées l'une de l'autre à une distance à peu près égale à l'épaisseur d'un maillon terminé, et cela afin de pouvoir engager le maillon ébauché dans le maillon précédent achevé.

Chaque spire, au lieu de former une hélice régulière, offre sur une partie de sa longueur (*fig. 17*) un pas plus rapide que le reste; toutes ses parties, lorsque l'aplatissement est fait (*fig. 18*), coïncident avec les deux extrémités de la barrette.

L'ébauche étant engagée dans le maillon précédent, est chauffée et les spires sont soudées par martelage ou par pression, en façonnant le maillon dans des matrices appropriées disposées pour opérer successivement sur les deux moitiés du maillon ayant la forme allongée. On obtient ainsi une chaîne dont la soudure peut être moins soignée sans que la résistance du maillon s'en ressente. Cette résistance est pour ainsi dire indépendante des défauts de la soudure.

Depuis longtemps, les anneaux ou maillons de raccordement sont façonnés par ce procédé; il est étonnant qu'il ne soit appliqué que depuis quelques années à la fabrication des chaînes.

L'enroulement de la barrette se fait à la machine (*fig. 12* à *14*) disposée pour donner, d'un coup, au maillon la forme à peu près elliptique voulue au moyen du cylindre d'enroulement A de section elliptique et du cylindre guideur E à rainure (*fig. 15* et *16*). Ces cylindres sont montés sur des arbres reliés par des engrenages et sont commandés par l'arbre J portant les poulies PP'. La barrette étant enroulée sur A, l'arbre F est

(1) Procédé Crawshay. Brevet du 15 janvier 1890.

Digitized by Google

tiré en avant en repoussant du cylindre A le maillon enroulé.

Une partie de la matrice inférieure *(fig. 19* et *20)*, et l'outil supérieur *(fig. 22* et *23)*, servent à souder le maillon en le réduisant à une section octogonale; l'autre partie et l'étampe supérieure *(fig. 24* et *25)* lui donnent la forme circulaire.

Chaque matrice qui confectionne la moitié du maillon a une encoche pour recevoir le maillon déjà fait.

Lorsqu'on veut produire une chaîne à maillons allongés, il suffit d'aplatir sur champ les maillons circulaires. Ces chaînes présentent plus de sécurité que celles ordinaires.

Chaînes sans soudure.

La chaîne à maillons soudés est peu sûre; il suffit d'une soudure défectueuse pour déterminer la rupture et de graves accidents. Aussi, a-t-on cherché depuis longtemps à fabriquer les maillons sans soudure, en les débitant à la barre profilée ou non par plusieurs opérations successives d'étampage, de refoulage du métal, en même temps que se forme le maillon que l'on détache de ceux adjacents par découpage de bavures ou d'excès de métal.

Il faut employer du fer d'excellente qualité, de l'acier doux ou du fer fondu se prêtant bien aux déformations, tout en n'étant pas trop mou, afin d'éviter les allongements sous charge en travail.

On recommande l'acier doux Martin, dont la résistance à la traction varie de 45 à 50^{kg} par millimètre carré, et donne un allongement de 18 à 25 0/0.

Les chaînes sans soudure peuvent présenter, à égalité de résistance, des dimensions un peu plus faibles que les chaînes soudées dont le degré de sécurité est moins grand.

Les premières chaînes sans soudure ont été exécutées industriellement par les procédés de M. Oury (1), vers 1881, qui

(1) Maître principal de l'arsenal maritime de Cherbourg.

Digitized by Google

comprennent divers forgeages, poinçonnages à chaud et à froid.

La chaîne Oury est ébauchée par étampages successifs au pilon dans des barres d'acier laminé en croix *(fig. 27)*; l'ébauche *(fig. 28)* est produite à chaud au moyen d'une machine dite à encocher, qui refoule le métal alternativement sur chacune des nervures.

Ensuite, des petits trous *(fig. 33)* sont percés à froid de manière qu'ils se rencontrent deux à deux suivant l'axe de la barre et que les maillons ne se tiennent plus entre eux que par quatre bribes de métal et se laissent facilement détacher après avoir passé dans une série de matrices actionnées au pilon pour présenter les *figures 29, 30* et *31*.

Ces étampages refoulent le métal du centre vers le pourtour ne laissant au milieu qu'une toile mince enlevée par une poinçonneuse spéciale qui ébarbe aussi le pourtour comme *figure 32*.

La séparation des maillons se fait alors avec un petit pilon. L'ébarbage est achevé; les maillons sont régularisés à chaud dans la matrice *(fig. 35)* circulaire; on a soin de faire tourner le maillon en matrices. Les bavures sont enlevées et on obtient ainsi une chaîne à maillons ronds sans soudures très réguliers.

Les maillons sont ensuite ovalisés à chaud dans les mâchoires d'une machine spéciale.

Si la chaîne doit être étançonnée *(fig. 35bis)*, on place les étais en faisant cette dernière opération.

Ces chaînes ne sont livrées qu'après avoir subi une épreuve déterminant une traction de 18^{kg} par millimètre carré, permettant de vérifier si les soudures de raccord *(fig. 36* et *37)* ont été bien faites.

Ces chaînes sont ordinairement fabriquées avec un métal donnant une résistance de rupture de 42^{kg} par millimètre carré de la double section.

Signalons que, pour les chaînes de fort échantillon, on étampe les maillons à la presse hydraulique en leur donnant successivement les formes *figures 38, 39, 40* et *41*.

Digitized by Google

La *figure 38* est le profil de la barre d'acier doux ou de fer fondu ; la *figure 39* montre le résultat de la première façon ; puis la barre est retournée et reçoit la deuxième façon *(fig. 40)*. Les bavures et toiles sont ensuite enlevées par des emporte-pièces et les maillons sont détachés et mis à la forme voulue *(fig. 41)* (1).

Les *figures 42* à *46* se rapportent à la confection des maillons avec des barres laminées suivant divers profils à empreintes dont la forme et la disposition sont telles, qu'après avoir découpé quelques parties de métal qui relient les empreintes, il ne reste plus qu'à étamper, ébarber et ovaliser les maillons.

Les *figures 42* à *45* représentent des empreintes sur une barre de métal pour fabriquer une chaîne de 15^{mm} de diamètre.

La *figure 46* est une variante. La *figure 47* montre qu'une barre S chauffée à haute température et pressée par les quatre outils prend la forme *figure 43*.

La barre peut présenter la section des *figures 48* à *52*.

La *figure 53* est l'empreinte de l'un des outils.

Pour diminuer la résistance à vaincre dans la fabrication des grosses chaînes et pour ne pas trop fatiguer le métal, au lieu de façonner chaque maillon ou fraction de maillon en un seul coup avec des outils ayant la forme définitive des empreintes, il est préférable d'ébaucher les maillons, puis de les achever avec des outils finisseurs.

La *figure 54* montre la disposition de quatre disques lamineurs produisant les empreintes de la barre plus ou moins profondes pour préparer les ébauches.

Ces disques lamineurs sont armés *(fig. 55)* de segments en acier rapportés et rechangeables.

La *figure 56* représente les disques opérant sur une barre.

Afin d'obtenir une bonne fabrication et des maillons réguliers, il convient de pratiquer tout d'abord le perçage des trous,

(1) Brevet Allen, 16 décembre 1884. *Engineering*, 1er janvier 1886.

Digitized by Google

puis les encoches ovales et enfin les encoches divisant les anneaux.

Ces procédés donnent, par exemple pour une chaîne de 18mm, une perte de métal relativement considérable ; il faut 130kg de métal pour avoir 100kg de chaîne.

Pour réduire le déchet, on a cherché à diminuer le plus possible la distance entre les encoches et à obtenir des ébauches comme *figures 57* et *58* en travaillant la barre par élargissement au moyen des étampes *(fig. 59)*, l'encochage à fond étant produit par l'outil *(fig. 60* et *61)*.

Le travail comprend avec la nouvelle méthode :

1° Perçage à froid des trous en diagonale ;

2° Formation des encoches ovales à chaud ;

3° Premier étampage pour amincir la toile et encocher les ailes ;

4° Tranchage à froid de la toile centrale (premier ébarbage).

5° Encochage à froid entre les maillons à chaud ;

6° Cassage ;

7° Second étampage ;

8° Second ébarbage (1).

Machine Kinder pour matriçage des chaînes sans soudure.

La machine Kinder *(fig. 1* à *22, pl. 24)* matrice les maillons en les débitant dans une barre métallique, de préférence cylindrique, qui avance automatiquement sous les matrices et découpoirs, qui leur donnent d'abord la forme, puis ensuite les séparent.

Pendant le passage dans les matrices, la barre est réchauffée.

La barre est saisie entre deux mâchoires C^1C^2, la première fixe, la deuxième mobile, glissant verticalement dans des guides disposés sur le montant d'un chariot C *(fig. 2)*. Le mouvement vertical de C^2 est produit par une came C^8 montée sur l'arbre C^{13}. Cette came agit sur un galet C^3 dont l'axe est porté par la

(1) Cette méthode a été brevetée par Mme de Montebello de Briey (le 10 janvier 1885), concessionnaire du brevet de M. Oury.

mâchoire C et son profil est tel qu'à chaque tour elle fasse monter la mâchoire C^2 pour pincer la barre.

Sur le chariot C est monté un second chariot C^3 qui reçoit un mouvement de va-et-vient indépendant d'un mouvement analogue donné au chariot C. Le mouvement de C^3 est donné par une came C^4 montée sur l'arbre C^{13} près de son extrémité supérieure et a pour effet de rapprocher C^3 ou de l'éloigner des mâchoires C^1C^2.

Le chariot C^3 porte deux mâchoires C^5C^6, correspondant aux mâchoires C^1C^2. La mâchoire C^6 est soulevée par une came d^2 montée sur l'arbre C^{10} et agissant sur un galet d^3, dont l'axe est porté par la mâchoire mobile C^2. Les mouvements ascendants des mâchoires C^2C^6 sont alternés, de manière que lorsque C^1C^2 pincent la barre, C^5C^6 l'ont libérée, et *vice versâ*.

Lorsque le chariot C est arrivé à la limite de sa course en avant et que les mâchoires C^1C^2 serrent la barre pour la faire avancer dans le four à réchauffer D, le chariot C^3 revient en arrière, les mâchoires C^1C^2 sont alors ouvertes.

Lorsque le chariot C atteint sa position extrême arrière et a tiré la barre en arrière, les mâchoires C^1C^2 s'ouvrent, C^5C^6 se ferment, pincent la barre à leur tour et l'entraînent en avant. Les mâchoires C^1C^2 se referment ensuite et font avancer la barre d'une nouvelle quantité.

On voit donc qu'à chaque allée et venue du chariot C la barre prend un mouvement longitudinal à travers le four D et qu'en même temps elle avance d'une quantité qui est réglée d'après la longueur des maillons. Le four D est de type adapté à volonté à la machine (1).

En quittant le four, la portion de barre sortie est soumise à l'action d'une série de matrices ou étampes ouvreuses et découpeuses qui la transforment en chaîne.

La *figure 7* montre les porte-matrices et la première série

(1) Brevet du 10 septembre 1889.

Digitized by Google

d'outils ouvreurs. Les *figures 11* à *13* sont les détails des divers outils.

En sortant du four, la barre reçoit d'abord l'action des matrices mâles et femelles EE^1, montées dans des porte-matrices E^2. Ces porte-outils font entre eux des angles de 90° pour agir à la fois verticalement sur le dessus et sur le dessous de la barre, et horizontalement à droite et à gauche.

L'une des séries d'outils E ou E′ est placée un peu en arrière de l'autre et lorsque les matrices ont agi sur la barre, elles lui ont donné la forme 1 *(fig. 15* et *16)*, ou ébauche d'un maillon. Ensuite l'ébauche est soumise à l'action des outils ouvreurs E^3E^4 *(fig. 12)* montés sur des porte-outils E^5, faisant des angles de 45° et fonctionnant entre les porte-matrices E^4. Ces outils ouvreurs ont pour effet de produire des ouvertures 2 dans les cavités 1* et, en même temps, d'écarter ou de détendre les portions latérales des maillons non encore formés.

Chacun des outils E^3E^4 porte une nervure *e* taillée en biseau et terminée par une dent *e′* taillée en sifflet.

Lorsque ces sifflets viennent se toucher en traversant le maillon, les dents *e′* de la paire d'outils conjugués se recouvrent ou chevauchent l'une sur l'autre, d'où résulte la formation des ouvertures 2 *(fig. 15* et *16)* et en même temps l'écartement des portions latérales du maillon.

Les outils ouvreurs E^3E^4 portent en outre des étampes e^2 qui arrondissent les bouts des maillons.

L'opération suivante consiste à séparer les parties latérales d'un maillon des parties extrêmes ou du bout du ou des maillons voisins sur les côtés de ce dernier ou de ces derniers maillons.

A cet effet, des outils ouvreurs E^6 faisant entre eux des angles de 90° sont reçus dans les contre-parties E^7. Ces outils E^6 comportent un prolongement e^3 qui va en s'effilant et dont la forme générale est indiquée en coupe transversale *(fig. 13)*.

Digitized by Google

Lorsque les outils E^6 et leurs contre-parties E^7 viennent se rejoindre, le maillon est séparé des parties extrêmes ou du bout du ou des maillons voisins, comme on le voit en 3 (*fig. 15* et *16*).

Les outils E^6 et leurs contre-parties E^7 présentent des surfaces e^4 formant étampes pour continuer à conformer et à arrondir les bouts des maillons.

Une fois ces opérations exécutées, les maillons sont prêts à être complètement séparés par découpage.

Les opérations précédentes se font toutes simultanément, les outils étant actionnés par des cames appropriées F^3F^4 commandées par des dispositions mécaniques que nous ne pouvons signaler ici.

La *figure 8* montre une série de porte-outils découpoirs, HH' sont des porte-couteaux ; il y a quatre séries distinctes. Les porte-couteaux sont disposés suivant des angles de 45° et actionnés par des cames H et H^2 orientées les unes par rapport aux autres et conformées de manière que, lorsque les cames H^2 qui font mouvoir les porte-couteaux vers l'intérieur, ont cessé d'agir, les cames H^3 entrent en action et fassent basculer les leviers H^4 dans le sens voulu pour que les porte-outils soient ramenés en dehors par les bras h' de ces leviers.

Les découpoirs sont représentés par la *figure 21*.

Sur la *figure 15*, *s* indique le point où agit la première série de découpoirs t; en s^2, le point où agit la deuxième série t^2; en s^3 est le point où agit la troisième série t^3.

Les quatre découpoirs de chaque série fonctionnent en concordance pour opérer leur effet, mais les quatre séries agissent successivement. Chacun des découpoirs, après avoir agi, reste dans la coupure qu'il a faite, jusqu'à ce que les derniers découpages soient effectués. Tous se retirent ensemble vers l'extérieur et la chaîne avance d'une nouvelle quantité, libérée simultanément par tous les outils indistinctement.

La *figure 22* représente le diagramme des cames des découpoirs

poirs; on voit que le développement des bossages est variable pour assurer l'opération dans les conditions précitées.

L'opération du découpage rapproche tout près les uns des autres, à leurs extrémités, les maillons, et des bavures plus ou moins étendues se forment.

Il faut forcer les maillons à prendre leur position normale et aplatir ou arrondir les bavures, ce qui se fait avec des outils en coins JJ' *(fig. 14)*.

Ces outils agissent sous des angles de 90°, aux points U indiqués *figures 15* et *16*, les maillons étant bien maintenus.

Ces outils achèvent la chaîne en contribuant à donner avec les appuis J^2J^3 qui présentent une forme estampeuse, le profil exact aux parties extrêmes du maillon et à les arrondir.

Signalons encore que le mouvement de va-et-vient donné à la barre par le chariot C ramène les parties ébauchées, plusieurs fois dans le four D, avant que les chaînons soient complètement achevés.

Après avoir quitté les outils JJ', la chaîne passe à un chariot L, semblable au chariot C, et il porte un chariot L' semblable à celui C^3. Des bielles L^2 *(fig. 3* et *4)* réunissent C et L pour solidariser les chariots qui ont ainsi le même mouvement. Des mâchoires *ll'* agissent comme les mâchoires C^1C^2, C^5C^6, de manière que la chaîne soit toujours tendue pendant les mouvements de va-et-vient.

Ces procédés ne donnent lieu à aucune perte sensible de métal.

Pendant le travail, les outils sont refroidis avec de l'eau.

La transmission du mouvement moteur aux divers arbres secondaires des cames comporte une série d'organes et de mécanismes que nous ne pouvons décrire, parce qu'elle nous entraînerait trop loin du cadre de cette étude générale.

Chaînes étançonnées sans soudure.

Les chaînes étançonnées s'obtiennent également sans soudure en opérant comme pour les chaînes ordinaires par des

Digitized by Google

étampages successifs et des coupures pour la séparation des maillons. Dans ces chaînes, les vides étant relativement moins grands le métal résiste davantage aux actions de refoulement, aussi préfère-t-on produire les ébauches de maillons par enlèvement du métal, par poinçonnage à froid de barres à section en croix.

Par exemple, le découpage comporte cinq premières opérations successives transformant les maillons comme *figure 23* à *27)* (1); la sixième consiste à détacher chaque maillon de ceux adjacents par une torsion *figure 28*[a], en fixant l'une des extrémités de la barre, tandis que sur l'autre on exerce un moment de rotation alternatif qui sépare les mailles.

C'est seulement à la huitième opération que commence l'application des procédés de forgeage, après qu'une septième opération a enlevé le métal superflu.

Cette huitième opération amène les extrémités des maillons à leur forme arrondie en estampant en même temps les deux extrémités de chaque maille entre des estampes dont la *figure 30*[a] montre l'une d'elles.

Dans une neuvième opération, la partie du milieu et l'étançon sont achevés également avec des estampes telles que 31[a].

La dixième et dernière façon *(fig. 32)* consiste à contracter légèrement la maille dans le sens latéral afin de corriger les imperfections des opérations précédentes. On emploie à cet effet les matrices 32[a] et 32[b].

Les façons d'estampage se font à chaud lorsqu'il s'agit de forts échantillons.

En vue d'obtenir des mailles étroites pouvant fonctionner comme des mailles ordinaires courtes sur des poulies à empreintes ou autres, on poinçonne le milieu de l'étançon *(fig. 33)*, de manière à ne laisser que deux tronçons courts faisant saillie en dedans.

---

(1) Brevet Rongier.

Digitized by Google

Ensuite, par la dixième façon précitée, les deux branches de la maille sont rapprochées jusqu'à ce que les saillies butent et constituent de nouveau un étançon plus court, empêchant tout affaissement latéral de la maille qui prend la forme *figure 34* ; ses œils sont alors justes assez larges pour loger la maille adjacente.

En vue de simplifier les opérations et d'obtenir une fabrication plus rapide, M. Klatte (1) a adopté le laminoir pour l'ébauchage ou forgeage à peu près complet, ce qui constitue un grand progrès dans la fabrication de ces chaînes.

La barre à section cruciforme passe dans un laminoir à quatre cylindres à empreintes *(fig. 43)* de façon à obtenir dans la barre les creux nécessaires à la formation des mailles. La barre est présentée dans une position telle que ses ailes soient placées diagonalement par rapport aux axes des cylindres *(fig. 35)*. Les bavures du milieu des mailles *(fig. 36* à *40)* sont dégagées par un poinçon étampe *(fig. 36ᵃ* et *37ᵃ)*, ensuite on sépare par cisaillement les mailles restées solidaires à deux endroits dans le sens de la plus grande face du métal *(fig. 41)*. Le cisaillement se fait au-dessous de 200° afin de prévenir les criques qui se produiraient à une température voisine de 300°.

La chaîne est achevée en la réchauffant et en la faisant passer dans un train de finissage, ou en employant une presse à forger.

Les empreintes des cylindres du laminoir *(fig. 38* et *39)* sont rechangeables à volonté. Le diamètre est d'environ 1^m, la vitesse circonférentielle varie de 3^m à 6^m par seconde selon les dimensions. Les cylindres étant bien réglés, les mailles sont régulières et les déchets de peu d'importance, environ 7 0/0. L'étirage général de la barre pendant la première transformation est d'environ 36 0/0. La façon finale donne 10 0/0 en plus. Ces chaînes sont achevées à la meule d'émeri.

(1) M. Klatte, directeur des laminoirs de Neuwied. Brevet du 12 janvier 1892.

Digitized by Google

Attaches et crochets.

Les câbles et les chaînes donnent lieu à l'emploi d'organes d'attache, de suspension, dont les principaux types sont représentés *figures 1* à *10*, *planche 25*. Ce sont des tiges à anneau, des brides à tourillons, des crochets simples ou multiples dont l'exécution à la forge n'offre rien de particulier à signaler.

Il importe dans ces organes d'éviter les soudures, les angles à faible raccord, en prenant la pièce dans un échantillon de dimensions suffisantes et en cintrant largement les parties courbes, que l'on étire tout d'abord en ligne droite.

S'il s'agit d'un crochet double à tête de bélier, la tige ébauchée pourra être fendue après perçage d'un trou, et les parties écartées sont étampées, puis cintrées, pour former les crochets.

Lorsque ces pièces se répètent en grand nombre, comme les crochets de wagons (*fig. 5, 6* et *7*), on les ébauche au pilon avec amorce pour soudure ultérieure de la tige plus ou moins longue qui est préparée dans des barres de dimensions plus faibles, mieux appropriées que celles employées pour le crochet même. Ces crochets se font en bon fer de ferraille soudé au pilon et recevant un corroyage énergique.

L'ébauche d'un tel crochet comporte le dégagement de la tige, le perçage de l'œil après étirage du bec ou des deux becs que l'on rabat.

Réchauffée, l'ébauche est d'abord matricée dans des matrices usées, puis achevée dans des matrices finisseuses, après l'enlèvement des plus grosses bavures.

Les bavures dues au matriçage définitif sont enlevées dans des matrices à ébarber. Une telle matrice est taillée dans un bloc d'acier; le vide correspond à la forme du crochet.

La matrice est placée sur l'enclume d'un pilon; on met le crochet sur la matrice et on pilonne à petits coups. Le crochet passe au travers et est retiré de l'autre côté.

Digitized by Google

Grappins et ancres.

Les crochets multiples dits grappins sont formés *(fig. 9* et *10)* d'éléments à section circulaire dont une extrémité est pourvue d'une patte rapportée, soudée, achevée à la chasse et avec une étampe de forme si les pièces se répètent.

Chaque tige est mise à longueur, puis on soude deux d'entre elles vers les extrémités opposées aux pattes, de manière à les rendre simplement solidaires; ou bien on soude immédiatement les trois pièces, ou les quatre, en les maintenant énergiquement serrées par un anneau que l'on soude avec les tiges pour former le collet de renforcement; ce collet prévient les déchirures ou le dessoudage, lorsqu'on cintre les tiges du grappin, après avoir soudé par amorces la tête, ainsi formée, à la tige de longueur variable, dont l'extrémité percée d'un œil reçoit l'anneau d'attache de la chaine.

Les ancres donnent lieu à des opérations analogues; elles étaient, au siècle dernier (1), l'objet d'une fabrication relativement très importante, donnant lieu aux plus grosses pièces de forge de l'époque.

Les paquets pour la confection des ancres en fer soudé sont formés d'un nombre de mises plus ou moins grand suivant l'importance, les dimensions de la pièce que l'on exécute en plusieurs parties comprenant : la verge, les bras, les pattes, l'organeau ou une bride et une traverse.

Les *figures 12* à *17* montrent les divers états de forgeage de la verge dont le petit bout ou culasse est percé pour recevoir l'organeau *(fig. 18, 19, 20* et *21)*.

La verge, mise à longueur, est amorcée *(fig. 22)* pour y souder les bras. Ceux-ci, constitués par des paquets *(fig. 23)* sont étirés en passant par les formes *figures 24* à *27*.

(1) L'une des plus importantes fabriques d'ancres d'Europe se trouvait en Suède, à Söderfors.

Digitized by Google

L'extrémité du côté de la patte affecte la courbure de celle-ci qui est soudée par encollage *(fig. 28, 29 et 30)*.

Ensuite, l'un des bras est encollé à l'extrémité de la verge; le second étant également soudé *(fig. 31 et 32)*, les vides sont garnis de mises ou coins additionnels que l'on soude en plusieurs chaudes.

Le fer en excès est découpé, on pare la pièce à la chasse tout en rectifiant la forme.

Les pattes sont aussi étirées chacune dans un massiau avec le bras dont on étampe la nervure, ce qui évite la soudure par encollement.

La verge est étirée séparément et les trois pièces sont soudées par un procédé analogue à celui indiqué précédemment.

Les forges qui façonnent les ancres en série font emploi de matrices pour l'exécution des pattes, que l'on soude parfois, munies de leur partie de bras, à une amorce ménagée à la verge, ce qui évite les chances de défauts de soudure à la naissance des bras et permet de ménager un grand congé de raccord du bras avec la verge.

Les grosses ancres, d'un travail de forge pénible et de grande importance autrefois, ne sont plus aujourd'hui que des petites ou moyennes pièces obtenues aisément.

Ancres articulées.

La fabrication des ancres à bras articulés *(fig. 33 à 36)* est facilitée en ce qui concerne le travail de forgeage.

Dans cette *figure 35*, la tige ou verge est formée de deux parties DD de dimensions dédoublées en épaisseur, que l'on étire dans un massiau et que l'on étampe au pilon. Ces parties sont percées et reliées par des rivets sans serrage MN.

Le collet C est aussi rapporté et maintenu par une clavette évitant la soudure.

L'anneau est articulé par une broche A' rivée. Les bras sont étirés dans une même pièce avec taquets d'arrêt E rapportés et soudés. Les pattes sont dégagées dans la masse sans néces-

Digitized by Google

siter de soudure par encollage. L'anneau F et son attache sont également des pièces simples articulées sur broches rivées.

Cette disposition à pièces assemblées, tout en facilitant l'exécution à la forge, présente de grands avantages pour la manœuvre et le fonctionnement (1).

Dans le type d'ancre *figure 36* (2), les bras ou les pattes A et les cornes ou dérapeurs B sont d'une seule pièce. Ces dérapeurs sont prolongés de toute la largeur des pattes et ils peuvent alors servir de jouail.

L'ancre étant envoyée par-dessus bord tombe immédiatement en position voulue en atteignant le sol.

Les bras étant faits en acier coulé, les parties en fer forgé qui complètent l'ancre sont des pièces simples.

Les dérapeurs sont disposés sur le devant du centre de l'axe de la traverse C. Celle-ci est évidée en D pour recevoir les tourillons E de la queue F. Ces tourillons comprennent une tige passant par une ouverture G de la tête H que l'on chauffe au rouge; après refroidissement le serrage retient solidement les tourillons E, maintenus aussi en place dans la traverse C par des chevilles J rivées, permettant à la queue F et aux pattes A de prendre un mouvement radial à tout degré voulu.

Ressorts.

Les ressorts présentent des formes et des dimensions assez variables qu'indiquent les *figures 1* de la *planche 26*. Ils se font généralement en acier de bonne qualité possédant une grande élasticité et une grande résistance, que l'on augmente par la trempe à un degré convenable.

On peut distinguer les ressorts à lames, ceux en hélice, dits à boudin, ceux en spirale, ceux en spirale et hélice, ceux à rondelles, enfin les ressorts de forme plus ou moins arbitraire.

L'application des ressorts s'est tout particulièrement déve-

(1) Brevet Martins, 12 mai 1885. *Engineering*, 10 juillet 1885.
(2) Ancre par Hall et Vérity. Brevet du 5 juin 1889.

Digitized by Google

loppée avec la construction des véhicules pour voies de terre et surtout de ceux des voies de fer, ces derniers exigeant des ressorts de suspension et des ressorts pour tampons de choc d'une grande puissance. Le matériel de guerre a motivé également l'emploi d'un grand nombre de ces organes qui se fabriquent avec beaucoup de soins dans des forges qui en ont fait une spécialité.

Ressorts à lames.

Un simple ressort ordinaire à lame plate se façonne au marteau en l'étirant à la barre ou le découpant dans une bande mince et réduisant l'épaisseur s'il y a lieu.

La pièce étant régularisée est trempée sur recuit au bleu ou au jaune foncé suivant l'usage, le bain étant de l'eau ou de l'huile.

S'il s'agit de ressorts de véhicules, les pièces se répétant en grand nombre, on fait usage du laminoir pour profiler l'épaisseur variable.

La lame est parfois ébauchée en l'étirant dans une barre; mais le plus souvent les feuilles de ressorts sont découpées dans des bandes d'épaisseur voisine de celle à produire, et il suffit de laminer la bande avec un laminoir à cylindre excentré dont le développement correspond à la longueur de l'élément à découper. Si la lame est amincie sur une partie vers l'extrémité, l'opération peut se faire en engageant la bande du côté de la sortie des cylindres.

Laminoir excentré pour feuilles de ressort.

Le laminoir pour bandes de ressort peut comprendre un rouleau cylindrique et un rouleau dont une partie est concentrique avec son arbre pour permettre de laminer bien à épaisseur les bandes d'acier livrées par les forges. Une autre partie de ce rouleau est cylindrique, mais excentrée pour faire varier l'épaisseur; elle est rechangeable à volonté selon le modèle de lame.

Digitized by Google

La disposition du laminoir *(fig. 2, 3* et *4)* (1) comporte un cylindre supérieur C ordinaire et un cylindre inférieur formé d'un arbre en acier A, ayant trois portées excentrées sur lesquelles se montent et se calent trois bagues BB'B" en acier cémenté, trempé; ces bagues rectifiées forment ainsi trois excentriques. Chaque bague est elle-même d'épaisseur variable, et les clavettes de calage, au nombre de quatre *(fig. 4)*, permettent de changer quatre fois la position suivant des réductions d'épaisseur variables. On peut ainsi, sur ce laminoir, avec les trois bagues, produire douze types de feuilles différents sans changer la position du cylindre C.

Les dimensions sont telles que l'on peut amincir des ressorts ayant de 75^{mm} à 110^{mm} de largeur et des épaisseurs variables allant jusqu'à 15^{mm}.

Extérieurement au bâti, sur le prolongement des arbres, sont montés deux cylindres cannelés en acier permettant la régularisation des lames sur champ.

Dans ce laminoir le cylindre supérieur étant mobile verticalement, on peut à volonté façonner toutes épaisseurs.

Lorsque la feuille est à nervure *(fig. 18)*, celle-ci est façonnée par le laminoir qui présente un cylindre à gorge, l'autre étant à boudin. Si la dépression est partielle, elle se fait en étampes. Ainsi les étoquiaux PP *(fig. 9)* sont exécutés avec la machine à achever les lames *(fig. 5, 6* et *7)* (2), qui comporte une série d'outils disposés pour couper à froid des lames de 140^{mm} sur 15^{mm} d'épaisseur, pour couper les extrémités des lames suivant une forme B et les étoquiaux de forme C ou de forme PP, pour poinçonner les ouvertures DEF *(fig. 11, 12* et *13)*.

Les pièces présentées successivement aux divers outils sont guidées, afin de pouvoir les placer exactement dans la position de travail.

Lorsque les étoquiaux sont rapportés, ils sont exécutés en fer

(1) *Revue générale des machines-outils*, août 1890.
(2) *Revue générale des machines-outils*, août 1890.

Digitized by Google

fin au bois ou fer fort de premier choix ; ils sont épaulés et rivés avec rivure fraisée.

Si la feuille principale comporte des rouleaux ou des brides d'attache, la partie enroulée se fait à chaud sur un mandrin approprié; si c'est une bride, celle-ci est forgée séparément, puis elle est soudée.

Les feuilles sont ensuite ou redressées, si elles doivent être droites, ou cintrées à la courbure déterminée, à chaud dans des étampes, ou avec une machine à cintrer à rouleaux et contre-poids, en donnant une flèche de fabrication supérieure à la flèche indiquée pour compenser la perte de flèche initiale due au premier essai fait par le fabricant, et qui consiste à soumettre les ressorts à une flexion nécessaire pour épuiser la perte de flèche initiale, de manière que les ressorts ne présentent dans les épreuves ultérieures (1) aucune perte de flèche.

Pour les ressorts des véhicules du matériel d'artillerie, le boulon d'assemblage étant enlevé et les feuilles portant les unes sur les autres, par leurs extrémités, le jeu entre les feuilles, c'est-à-dire l'intervalle successif qui les sépare doit être très régulier.

Si, pour une ou plusieurs feuilles, ce jeu n'est pas suffisamment régulier, ces feuilles sont remaniées pour leur donner la forme convenable.

Ces ressorts se trempent au rouge ordinaire ou au rouge sombre, dans l'eau ou dans l'huile, sur recuit voisin du bleu violet, suivant la nature de l'acier employé. On a soin de les plonger sur plat dans le bain de trempe. Après trempe, chaque feuille est vérifiée et, par le son qu'elle rend au choc, on constate si elle n'est pas fêlée.

Ordinairement, pour les véhicules, les ressorts se font aujourd'hui en acier converti à teneur en carbone variant

(1) Les épreuves de réception des ressorts consistent à les soumettre après trempe, à une flexion déterminée au moyen d'une presse. Souvent après un essai à charge lente, les ressorts reçoivent plusieurs coups de presse très brusques les faisant fléchir au maximum ; ils ne sont reconnus bons que lorsque, après avoir subi ces essais, ils reprennent leur état primitif et ne présentent ni gerçures ni criques.

Digitized by Google

de 0,5 à 0,75 et présentant une résistance à la rupture par traction de 60 à 90^{kg}, une limite d'élasticité correspondant à une charge de 30 à 40^{kg}, éléments qui augmentent par l'effet de la trempe et du recuit au degré voulu, et atteignent une valeur de 90 à 120^{kg} de ténacité à la rupture et une limite d'élasticité voisine d'une charge de 60 à 80^{kg}. Le recuit de ces ressorts se fait au four à la température du bois brûlant, puis la lame est refroidie à l'air.

Autrefois on employait l'acier corroyé qui a été remplacé par l'acier fondu au creuset encore recherché pour les ressorts de qualité; mais l'emploi des aciers fondus Bessemer ou Martin obtenus dans de bonnes conditions tend à se généraliser pour les ressorts de wagons et autres véhicules.

La maison Jacob Holtzer et Cie préconise pour les ressorts de chemins de fer et de carrosserie, l'acier de composition suivante: C = 0,35 à 0,45, Si = 1,8 à 2,2, Mg = 0,45 à 0,55.

Les ressorts fabriqués avec cet acier peuvent supporter sans déformation permanente des charges très élevées.

Ils sont caractérisés, après la trempe, par une charge de rupture à la traction d'environ 150^{kg} avec un allongement de 10 0/0. La trempe des ressorts avec cet acier se fait à une température de 900 à 1000°, c'est-à-dire entre le rouge cerise très clair et le jaune naissant, tandis que généralement la trempe se fait à une température plus basse.

En employant pour la trempe des ressorts le bain Burin, on assure à l'acier une ténacité et une élasticité exceptionnelles, une grande résistance aux chocs.

Ce bain de trempe n'exige qu'une température modérée de chauffage de la pièce.

Ressorts Cliff's.

Les ressorts du type Cliff's *(fig. 14 à 17)* (1) employés aux États-Unis pour les wagons donnent lieu à la confection d'une

---

(1) *Engineering*, 12 mars 1885.

Digitized by Google

lame médiane de forme elliptique, que l'on obtient soit par laminage d'une bande que l'on recourbe à chaud sur mandrin de forme, et dont les deux abouts sont soudés au milieu à l'endroit d'une bride, soit par laminage d'une bague sans soudure que l'on déforme également sur un mandrin.

Les autres lames de sommet sont également laminées, puis pliées, pour s'ajuster dans la première.

Les brides de sommet sont obtenues par étampage. Les brides du milieu sont des bandes laminées, découpées à leurs extrémités suivant des queues d'hironde, puis pliées pour former boîte et ajustées à chaud de manière à déterminer un serrage énergique entre les lames.

Ressorts en spirale.

Les ressorts à spirale sont ordinairement constitués par des lames ou bandes d'épaisseur et de largeur constantes laminées, découpées à longueur et enroulées sur un mandrin rotatif, en fixant l'une des extrémités de la bande au mandrin et en déterminant une traction suffisante sur l'autre partie. Le mandrin est de diamètre à peu près égal à celui correspondant à la courbure de la partie centrale du ressort. La bande étant enroulée sur contact réciproque, son élasticité détermine, après enlèvement du mandrin, un déroulement laissant un certain vide entre les spires de la spirale.

Le réchauffage et le recuit restituent au métal toute son élasticité, et la trempe au degré voulu l'augmente encore.

Le chauffage de ces ressorts est toujours une opération délicate, de même que la trempe que l'on fait ordinairement dans un bain d'huile. On plonge au rouge dans l'huile, le recuit est obtenu à la combustion de l'huile adhérente, puis les ressorts sont plongés dans l'eau froide. Ce procédé s'applique d'ailleurs à tous ressorts avantageusement.

Les ressorts en spirale à lame très mince se fabriquent avec des aciers au creuset de toute première qualité et ils sont sou-

Digitized by Google

mis pendant leur façonnage à des soins continus, tant pour le chauffage que pour le laminage à chaud et les recuisages qu'ils subissent pour le laminage à froid. De même, les décapages qui suivent les recuisages doivent être minutieusement opérés afin que les bandes d'acier ne soient pas attaquées par les acides sulfurique ou chlorhydrique étendus, dans lesquels elles sont plongées pour détacher la calamine qui s'est formée au recuisage ; car, bien que cette opération soit faite en vase clos et généralement à feu de bois, la bande se trouve toujours un peu oxydée. Or, le moindre corps étranger s'imprimant, par la pression du laminoir, dans une mince épaisseur (quelques dixièmes de millimètre parfois), fait casser la bande, soit à la trempe, soit à l'enroulage du ressort.

Pour prévenir toute crique sur les bords de ces bandes, elles ont leurs angles arrondis.

Ressorts hélicoïdaux.

Les ressorts en hélice dits à boudins sont constitués par une tige d'acier de section circulaire, rectangulaire, ou autre, enroulée sur mandrin cylindrique dans le cas du boudin ordinaire, sur mandrin de forme correspondante, s'il s'agit d'un ressort à profil variable, conique, parabolique ou complexe.

Pour tenir compte de l'élasticité du métal, il faut employer un mandrin de diamètre un peu plus petit que celui du ressort qui se détend après enroulement, se renfle plus ou moins.

Le chauffage des ressorts de petite section pour la trempe est assez difficile, de même que le recuit uniforme que l'on obtient dans un bain métallique. Dans divers arsenaux, on emploie, avec réussite complète, le chauffage par un courant électrique qui est rapide et sûr.

Les ressorts à boudin se fabriquent avec des aciers corroyés ou Martin suivant leur faible ou fort diamètre. Ces aciers sont tréfilés avec plus ou moins de tension à la filière pour les récrouir suivant la dureté, l'élasticité à obtenir ; car ces aciers,

Digitized by Google

tout en étant trempés de la même façon, se comportent différemment à la flexion ou à la traction, suivant les soins apportés au tréfilage.

Les longs ressorts à boudin en fil d'acier sont parfois enroulés après avoir subi la trempe et le recuit lorsque la dureté est telle qu'elle permet l'enroulement, lequel se fait avec une machine (1), telle que celle *figure 1*, *planche 27*, comprenant un arbre A creux pour livrer passage au ressort en formation.

A une extrémité de l'arbre sont disposées deux mâchoires et vis de serrage E, à l'aide desquelles le ressort R peut être serré à volonté.

L'arbre est commandé par une poulie à embrayage.

L'enroulement s'opère comme suit :

On recouvre à la main quelques centimètres de fil sur une broche I de longueur atteignant 1^m ou 2^m au plus. On insère la partie enroulée entre les mâchoires ; on fait tourner l'arbre ; on appuie le fil métallique F, déroulé d'une bobine, au moyen d'un guide B, contre la broche I ; le fil s'enroule ainsi jusqu'à l'autre extrémité de la broche. On arrête l'arbre, on relâche la vis de serrage pour faire glisser le ressort, puis on resserre de nouveau pour procéder à un nouvel enroulement. Ces opérations se répétant, on obtient ainsi un ressort de longueur indéfinie.

Les ressorts à boudin se font rapidement avec la machine *figures 2*, *3* et *4* (2).

Un arbre A supporté par quatre paliers P, reçoit à volonté un mouvement de rotation par la poulie B montée folle sur lui ; un manchon d'embrayage et de débrayage M détermine la rotation ou l'arrêt.

Cet arbre peut, de plus, se déplacer longitudinalement en l'actionnant au moyen du levier L. A droite de l'arbre est disposé parallèlement le mandrin C ou vis de forme corres-

(1) Brevet Jarolimek du 19 février 1880.
(2) Brevet Thomson du 3 mai 1866.

Digitized by Google

pondant au ressort à façonner. Ce mandrin et l'arbre sont reliés par des roues d'engrenages RR'. Sur A est encore montée une griffe G actionnée par un petit excentrique E.

La verge à enrouler, étant chauffée au rouge, est saisie par la griffe; l'embrayage de l'arbre est produit et la rotation détermine l'enroulement, le mandrin servant de guide. Le ressort D est dégagé de l'arbre en reculant celui-ci. Un volant à manettes K est monté sur l'arbre pour l'actionner au besoin à la main.

Les rondelles d'écrous formant ressort, telles que celles *figures 5* et *6*, se fabriquent en enroulant en hélice une tige sur un mandrin G *(fig. 7, 8* et *9)*, puis en fendant longitudinalement le long ressort ainsi formé de manière à le diviser suivant chaque spire (1).

La machine à enrouler comprend un arbre A solidaire du mandrin G, animé d'un mouvement de rotation; un galet de guidage F monté sur un axe solidaire d'un chariot C analogue à celui d'un tour à fileter, disposé de manière à pouvoir régler exactement la position du galet incliné suivant la tangente à l'hélice extérieure du ressort à produire.

Le chariot C se déplace automatiquement pendant la rotation, et proportionnellement au pas du ressort.

La tige, chauffée ou non, selon la dimension, est fixée sur le mandrin, du côté de la poupée support de l'arbre; le galet est réglé comme le montre la *figure 8*; la mise en marche produit l'enroulement.

La tige mandrin G est supportée et guidée par un support fixé sur le chariot C *(fig. 11* à *13)*.

Le ressort est enlevé aisément du mandrin et livré à une scie qui le fend.

Lorsqu'il faut produire des ressorts à boudin de longueur déterminée uniforme, on adapte à la machine des dispositions auxiliaires qui agissent automatiquement.

---

(1) Brevet Harvey du 9 août 1888.

Digitized by Google

C'est ainsi que la machine *(fig. 14, 15 et 16)* (1) comprend une broche ou mandrin d'enroulement M animé d'un mouvement de rotation par l'intermédiaire de roues d'engrenages, d'un embrayage à friction E prenant mouvement par l'arbre de commande A, à volonté. Le fil métallique passe entre des galets entraîneurs R, puis sur les galets guides G. Le fil s'enroule d'abord en spires très rapprochées; mais, lorsque la came C écarte le levier L, celui-ci déplace un écartement de spires déterminé, qui se présente sous une cisaille H actionnée par une came I. La cisaille coupe à la longueur présentée, de façon à terminer le ressort à chaque bout par une partie plane.

Dès que le ressort est coupé, le cliquet K permet au disque M de tourner pour présenter un autre tube du barillet devant la broche d'enroulage et amène par le même mouvement le ressort achevé.

Ressorts à boudin à double cône.

Ces ressorts, dits aussi élastiques métalliques, se font sur mandrins F *(fig. 17 et 18)* (2) de forme correspondante, présentant des rainures hélicoïdales coniques.

Le fil métallique, préalablement coupé à longueur, est pincé par une pièce A solidaire d'une tige B logée dans un tube C à rainure hélicoïdale R. Cette tige est armée de petits bras E portant des galets qui se trouvent guidés dans la rainure R. La tige B est reliée à un ressort à boudin D dont l'autre extrémité est attachée à une bride I qui peut se fixer sur le tube, en un point variable, suivant le type de ressort à obtenir.

Le fil étant mis en adhérence et en prise avec la première gorge hélicoïdale du mandrin F, l'ouvrier fait tourner pour produire l'enroulement. Pour permettre au tube de suivre tous les mouvements que l'enroulement imprime au fil métallique, le tube attaché à deux ressorts de suspension G, est, de plus,

(1) Brevet à M. Ravasse du 30 novembre 1881.

(2) Brevet de M. Côte, du 28 janvier 1880.

Digitized by Google

monté sur un support H formant joint universel pour lui permettre de s'incliner dans tous les sens.

Cette fabrication se fait aussi mécaniquement avec la machine (*fig. 19* et *20*) (1). Le fil, au lieu d'être coupé à la longueur voulue, est enroulé sur une tournette A, pivotant sur un axe B relié à une pièce C qui l'entraîne dans un mouvement de rotation. La pièce C repose, d'une part sur le palier D, d'autre part sur le palier F par le tourillon creux G.

Afin que dans le mouvement de rotation de la tournette, le fil ne puisse tomber, des barres I le maintiennent. Le fil passe dans le tourillon G et va s'enrouler sur un mandrin K; un autre mandrin H lui sert de guide. Pour empêcher le fil de se dérouler et de s'écarter outre mesure, des barres verticales J sont fixées sur les bras de la tournette.

Le mécanisme de commande comporte des poulies montées sur l'arbre du mandrin et des engrenages qui transmettent le mouvement à l'arbre du guide L et à l'arbre B de la tournette.

Une cisaille à main X est placée sur le support du mandrin et sert à couper le fil quand il arrive à l'extrémité du mandrin voisine de la cisaille. Par ces mouvements, le fil se trouve simultanément tordu et enroulé sous la forme voulue.

Les ressorts spiraloïdes-coniques, dont l'emploi est particulièrement étendu dans les tampons des wagons, sont formés d'une lame d'acier de section rectangulaire ou elliptique enroulée en spirale conique après laminage amincissant la bande de chaque côté sur une certaine longueur.

L'enroulement est une des phases les plus importantes de la fabrication; il se fait à chaud au rouge cerise.

Une méthode consiste à enrouler la bande en volute, c'est-à-dire en spirale cylindrique, puis on l'amène en second lieu à la forme conique que l'on régularise plus ou moins facilement.

Un autre procédé comprend l'emploi d'un mandrin conique

(1) Brevet de M. Côte du 15 avril 1880.

Digitized by Google

lisse ou de préférence d'un mandrin concordant avec le moule exact du creux du ressort au moment où celui-ci est pourvu de sa flèche de fabrication.

Ce mandrin, porté à l'extrémité d'un arbre animé d'un mouvement de rotation lent, reçoit l'application de la lame par l'action successive ou continue d'une pression dirigée convenablement, soit que le mandrin puisse se mouvoir dans le sens de son axe, soit que l'organe de pression lui-même se déplace au fur et à mesure de l'avancement de la lame sur le mandrin.

La pression est ordinairement, dans ce cas, obtenue par un levier de $1^m,50$ de longueur chargé d'un poids de 200^{kg}; il n'est pas commode à manier.

Il est préférable d'opérer avec une enrouleuse mécanique telle que celle *figures 1* à *3*, *planche 28* (1).

Le mandrin B est monté sur un arbre horizontal A commandé par poulies et engrenages. Sur un support L à deux branches est monté un galet G qui peut posséder à volonté quatre mouvements simultanés nécessaires pour suivre la bande pendant l'enroulement.

La bande chauffée est engagée dans une rainure ou crochet que présente l'extrémité cylindrique du mandrin; elle est entraînée par la rotation et elle monte successivement les étages du mandrin, tout en étant pressée par le galet G amené au contact et maintenu en pression contre la lame par un ressort à boudin H réglé à volonté en tension; le ressort agit sur la tige du support L; le galet tourne sur son axe par entraînement de la bande; il se déplace, en outre, longitudinalement le long de son axe J; il monte en comprimant le ressort H, c'est-à-dire en déterminant un effort croissant favorable à l'enroulement à mesure que la bande se refroidit. Le galet G se déplace aussi angulairement, le support L pivotant dans les limites voulues, suivant l'inclinaison des spires. Le ressort formé

(1) Brevet Bihet du 16 août 1879.

Digitized by Google

s'enlève en le tirant dans le sens de l'axe, sitôt l'opération achevée.

Le ressort H est rechangeable à volonté ; pour les types ordinaires des ressorts de wagons, il donne une pression moyenne de 450 à 500kg.

L'enrouleuse est placée au plus près du four à chauffer les bandes et à proximité se trouve la bâche à eau dans laquelle le ressort est trempé au sortir de la machine.

Les ressorts en spirale simple ou complexe sont obtenus de la manière suivante (1) :

Pour faire un ressort à double spirale ou volute *(fig. 4)*, on prépare une plaque fendue *(fig. 5)* ; c'est l'ébauche que l'on enroule à froid ou à chaud sur mandrin au moyen de la machine *figures 6* et *7*.

Les deux branches de la bande forment les extrémités du ressort roulé ; elles sont ainsi unies dans le milieu qui n'a pas été fendu. On obtient de cette façon des ressorts à volute formée par une seule pièce, avec la propriété d'une double élasticité.

Un autre genre de ressort fait avec une seule plaque est celui *(fig. 8* et *9)* provenant de l'enroulement de l'ébauche *(fig. 10)* fendue par le milieu jusqu'à ce que la bande présente la forme elliptique.

Ou encore *(fig. 11* et *12)*, la bande est fendue en plusieurs endroits avec parties intermédiaires sans solution de continuité et donnant le ressort *figures 13* et *14*.

La bande *figure 15* donne le ressort *figure 16*.

La machine à enrouler comprend deux poupées dont l'une supporte les organes de la transmission et l'autre supporte le mandrin E relié à la vis V, de manière à pouvoir tourner d'une façon indépendante.

Le mandrin E est relié à l'arbre de commande par un toc d'entraînement.

Ce mandrin présente une fente qui s'étend sur un seul côté

---

(1) Brevet Metcalf du 21 juillet 1869.

Digitized by Google

d'une extrémité à l'autre, de façon à recevoir l'extrémité d'une plaque de ressort à rouler, et de telle sorte qu'après l'enroulement, le ressort puisse se dégager du mandrin facilement, en ramenant en arrière ledit mandrin à l'intérieur de la vis V par la manœuvre d'organes disposés à cet effet. Sur un côté de la machine, près du mandrin, est une table-guide T à réglage facile, pour supporter la bande pendant l'opération.

La table oscille sous l'action de la vis M dont le mouvement est gradué de telle sorte que la table T puisse s'élever lorsque le ressort se roule; il en résulte qu'une distance uniforme est maintenue entre le dessus de la table et le dessus du ressort.

Suivant le genre de ressort, la table est munie de guides appropriés tels que celui *figure 17*.

Les extrémités d'appui de ces ressorts peuvent être aplaties après l'enroulement s'il est nécessaire, ou mieux les bandes sont préparées à cette intention.

Rondelles-ressorts.

Les ressorts constitués par des rondelles (dites Belleville) *(fig. 18)* étaient primitivement formés par des rondelles affectant en coupe la forme d'un solide d'égale résistance, c'est-à-dire amincies sur les bords.

D'autres essais ont été faits sur des rondelles embouties en forme de calottes sphériques. L'expérience a indiqué qu'il convenait de s'en tenir à la section rectangulaire et à la forme tronconique, de telle sorte que deux rondelles accolées par leur grande base donnent un couple de forme lenticulaire qui fléchit sous un effort de compression et s'aplatit même tout à fait si l'effort est suffisant. Ces rondelles sont découpées à l'emporte-pièce dans des tôles d'acier, rectifiées, puis embouties à chaud au pilon et trempées sur recuit.

Ces rondelles sont soumises à des épreuves de réception don l'une comporte l'aplatissement complet de chaque rondelle.

Digitized by Google

aplatissement qui ne doit déterminer aucune crique ni diminution sensible de la flèche de fabrication.

Par exemple, on découpe un disque annulaire dans une tôle d'acier à 0,5 0/0 de carbone, ayant une épaisseur légèrement supérieure à celle qu'on veut donner à la rondelle, et avec les mêmes diamètres externe et interne. Chauffée au rouge, l'ébauche est emboutie conique au pilon de manière à lui donner une flèche un peu plus grande que celle définitive. Réchauffée à 900°, la rondelle est trempée à l'eau froide, puis recuite à 300°. Elle est ensuite aplatie au pilon à plusieurs reprises pour donner à la méridienne une courbure légèrement en S.

Ces rondelles se font ordinairement avec des diamètres de 100 à 300 sur 25 à 100, épaisseurs 3 à 20mm, flèches 3 à 5mm, charges d'aplatissement 1000 à 6000kg.

Boîtes à ressorts et tampons.

Les ressorts de choc sont généralement placés dans des boîtes dites faux tampons ou boisseaux et reçoivent l'action du choc par l'intermédiaire de tiges à collets et tête renflée appelées tampons

Les *figures 19* à *24* montrent diverses dispositions de ces organes.

Les boîtes ou faux tampons *(fig. 25* à *27)* sont obtenues en partant d'une virole conique enroulée et soudée, ou d'une virole sans soudure lorsque le rebord est de forme circulaire.

Si le rebord est de forme rectangulaire *(fig. 19)*, on a soin de ménager suffisamment de métal dans la tôle développée que l'on cintre à la machine.

La virole est soudée au petit marteau mécanique battant de nombreux coups d'intensité suffisante.

Parfois, la virole est régularisée au laminoir et peut même y recevoir une certaine façon.

La tête ou partie cylindrique est ensuite formée sur mandrin et en étampes *(fig. 28* et *29)*.

Digitized by Google

Le rebord ou semelle d'appui est tombé, rabattu soit par un marteau de forme M *(fig. 30)*, la pièce étant placée dans un tas pivotant T, soit au moyen d'une presse et de matrices AA' *(fig. 31)* opérant d'un seul coup, ou mieux en plusieurs coups, et en faisant pivoter la matrice inférieure à chaque fois.

La boîte est complétée, après montage du tampon dont la tige est à collet prononcé et renflé, par une bague d'arrêt en deux parties maintenue par l'adhérence due au serrage produit par la contraction de la tête chauffée au rouge avant la pose de la bague.

La tête est préalablement munie d'une bague ou frette extérieure également posée à chaud, qui la consolide.

Lorsque la tige-tampon ne présente pas de collet renflé, la tête du faux tampon est encore renforcée, comme l'indique la *figure 32*, par une bague intérieure et une bague extérieure qui sont soudées du même coup dans des étampes et sur mandrin central M maintenant le diamètre de la tête et formant le congé de raccord de la paroi à la bague intérieure.

Le mandrin M est poussé longitudinalement et maintient la pièce contre le rebord de l'étampe fixe qui forme l'about de la boîte. On a soin de faire tourner le mandrin et la pièce à chaque coup de marteau ou de presse.

Un autre procédé de fabrication consiste à découper des plaques dans des barres de fer (330/25) suivant le développement *(fig. 33)*; les parties convexes se cisaillent; les parties concaves se défoncent au poinçon.

Ces plaques sont ensuite amorcées pour préparer le joint de soudure et enroulées en forme de cône *(fig. 34)*, opération faite au pilon de 250^{kg}. La plaque est chauffée à blanc, amorcée au pilon, et enroulée sur un mandrin dans la même chaude.

L'ébauche est soudée au pilon de 500^{kg} dans une matrice *(fig. 35)* ayant le profil voulu, avec les oreilles entaillées dans la matrice. Le poinçon a la forme intérieure à extrémité terminée en cul d'œuf.

Digitized by Google

On chauffe l'ébauche au blanc soudant, et on la place la tête en bas; un coup de pilon, le plus fort possible, lui donne une première forme. On la retire et on coupe les bavures. Chauffée de nouveau, la pièce passe une deuxième fois dans la matrice. Il reste à achever la tête que l'on chauffe dans un feu de forge près d'un pilon de 250^{kg}. On l'emboîte dans une espèce de tenaille à frette *(fig. 36)*, la tête du pilon porte un poinçon étampe qui rabat le métal et forme le collet.

Les boîtes ou boisseaux à double paroi *(fig. 37* et *38)* sont forgés en préparant une rondelle A à gorge, une virole B s'emboîtant de quelques millimètres dans la gorge de la rondelle, une virole C à extrémité renforcée par une bague soudée à l'intérieur. Cette virole C s'ajuste dans le trou de la rondelle A.

Les trois pièces étant chauffées au blanc soudant sont placées dans une matrice M *(fig. 39)* munie d'une partie centrale T disposée pour maintenir convenablement les deux viroles. La rondelle s'emboîte dans l'empreinte supérieure de la matrice M. Le marteau ou frappe M' est pourvu d'un téton arrondi pénétrant dans la virole C du milieu et la maintenant quand, le choc se produisant sur la rondelle, le métal est comprimé et se soude.

L'opération se fait rapidement par des forgerons spécialisés à cette fabrication. On a soin de nettoyer la matrice après chaque opération (1).

Faux tampons matricés (2).

Une méthode de confection des faux tampons par matriçage consiste à former d'abord deux moitiés de la pièce *figure 40*, puis à les souder ensemble.

Pour cela, un lopin ou première ébauche de forme convenable et à la température du blanc est placé dans la matrice *figure 42*

(1) Procédé suivi par W. Eyre à Sheffield. (*Engineering*, 27 mai 1881.)

(2) Brevet à MM. Bellard et Cie du 10 février 1868.

Digitized by Google

pour recevoir la forme *figure 40* par martelage ou par pression.

La coquille *figure 40* présente ainsi deux rebords devant assurer une bonne soudure des deux moitiés.

Les deux parties, étant dégagées de leurs bavures, sont assemblées *(fig. 44)* et liées pour conserver leur position respective. Portées au blanc soudant, elles sont soudées en matrices *(fig. 41)* dans le sens horizontal, en ayant soin d'introduire un mandrin dans le vide central pour conserver et donner la forme intérieure.

Les rebords soudés forment deux nervures longitudinales consolidant la pièce *(fig. 43)*.

Si les oreilles sont très larges, on ménage à la deuxième opération du métal en quantité suffiisante que l'on écrase ensuite dans le sens vertical par une troisième opération leur donnant la largeur voulue.

Tampons ordinaires.

Les tampons ordinaires à tige et tête à plateau sont formés de la manière suivante :

La tête ou calotte est sciée dans une barre de fer de ferraille bien soudée et étampée *(fig. 45)*; aussitôt découpée à chaud au rouge, le rondin C passe dans une matrice M *(fig. 46)* munie d'un goujon mobile G. Le martelage lui donne la forme ébauchée avec trou ou empreinte pour recevoir le bout de la tige T *(fig. 47)*. La tige est prise dans une barre de fer rond ; une extrémité est forgée conique pour s'engager dans la calotte.

Les deux pièces ainsi préparées sont chauffées et soudées en matrices. On introduit la tige dans le trou de la matrice K *(fig. 48)*, la calotte est placée dessus, on pilonne vivement en faisant tourner la matrice à chaque coup jusqu'à ce que la calotte ait pris sa forme; on achève, on pare par petits coups de pilon.

La matrice est saisie par une tenaille à fourche, on la fait pivoter de manière à la retourner et avec quelques coups de

Digitized by Google

marteau à devant on fait sortir le tampon. La frappe F n'emboîte qu'une partie de la calotte, ce qui facilite le déplacement du métal et donne de bons résultats avec des coups d'intensité moyenne.

Un autre procédé consiste à garnir le bout d'une tige d'un paquet de pièces à longueur et de dimensions convenables que l'on soude en étampes au pilon, puis on donne une deuxième chaude pour le matriçage, comme dans le cas précédent.

Ou encore la tête est formée de viroles fendues *(fig. 51)* s'emboîtant, ou d'une barre à section rectangulaire enroulée sur l'extrémité de la tige *(fig. 49* et *50)*, qu'il convient de laisser dépasser pour assurer une meilleure liaison.

Si la tige présente un collet renflé et une surépaisseur vers la tête, le soudage du paquet et la formation de l'ébauche se font d'une même chaude en matrices *(fig. 52)* (1), en ayant soin de marteler d'abord le paquet, pour le souder, sur la partie plane des matrices; on présente ensuite la pièce aux empreintes et on étampe la tige au diamètre permettant dans une deuxième chaude de l'introduire dans les matrices finisseuses *(fig. 53)*, qui comportent l'emploi d'une bague en deux parties pour l'emboîtement du collet.

Les autres parties de la tige se terminent par les procédés ordinaires.

Les tampons en forme de boisseau *(fig. 54)* avec tige centrale sont constitués par une virole V découpée dans un tuyau ou obtenue directement par envirolage et soudure, ou par laminage et sans soudure.

L'un des bords ou extrémités est rabattu de manière à former empâtement en vue d'assurer une bonne soudure avec la tête.

Cet empâtement est exécuté avec les matrices M en deux parties *(fig. 55)*, dont l'une extérieure est facilement démontable pour le nettoyage.

(1) *Note sur le matriçage*, par M. F. Ayrolles (*Bulletin technologique*, juillet 1888).

Digitized by Google

La tête est un plateau P étampé avec gorge et trou central recevant la tige T qui déborde, de manière à former une espèce de rivure soudée. Cette tige est mise à longueur exacte.

Les pièces étant chauffées au blanc soudant sont engagées dans la matrice EE'.

La frappe F présente la forme bombée de la tête; en quelques coups les parties sont soudées (1).

Tuyaux et tubes.

Au point de vue de leur fabrication avec les métaux forgés, on peut distinguer : les tuyaux agrafés, les tuyaux rivés, les tuyaux soudés, les tuyaux sans soudure.

A part quelques particularités, les procédés de fabrication sont analogues dans chaque variété, quel que soit le métal avec lequel les tuyaux sont constitués.

Les tuyaux rivés et soudés sont les plus anciennement employés; ceux sans soudure, en plomb, se fabriquaient couramment au siècle dernier; mais, ce n'est que depuis un petit nombre d'années que l'on confectionne des tuyaux ou tubes sans soudure en cuivre, laiton, fer, acier.

La fabrication des tuyaux en fer ou en acier doux a pris une importance exceptionnelle à notre époque (2). La construction des conduites pour gaz et liquides, celle des chaudières tubulaires et multitubulaires ont déterminé une production qui s'accroît de plus en plus, et le développement d'une industrie spéciale dont les procédés simples tendent à progresser en vue d'obtenir rapidement des produits ne laissant rien à désirer.

(1) Procédé W. Eyre, à Sheffield. Brevet du 30 octobre 1880. (*Engineering*, 27 mai 1881.)

(2) C'est en Angleterre que la fabrication des tubes en fer s'est en premier lieu et tout particulièrement développée pour les conduites de gaz, les tubes de chaudières. Les procédés de fabrication des tubes soudés ordinaires furent importés en France par MM. Gaudillot frères et Roy (1840) et, vers 1864, MM. Mignon et Rouart introduisirent les procédés pour la confection des tubes à recouvrement. Ils créèrent une tuberie à Montluçon dirigée par Elie Delinières (Ang. 1845).

Digitized by Google

Tuyaux agrafés.

La fabrication mécanique de ces tuyaux est obtenue : en cannelant et retroussant au laminoir *(fig. 1, pl. 29)* (1) les bords longitudinaux d'une bande métallique mince de la longueur qu'on veut donner au tuyau, et dont la largeur est égale au développement du tuyau augmenté de la largeur nécessaire pour agrafer les deux bords l'un à l'autre ; en cintrant cette bande à l'aide d'une machine spéciale *(fig. 3, 4* et *5)* comportant un mandrin et un levier muni d'un galet s'appliquant sur la pièce et sur toute sa longueur. L'opération se fait en deux fois, en pinçant chaque bord contre le mandrin à tour de rôle, la pièce prenant la forme *figure 5*.

La troisième façon consiste dans le rapprochement, l'accrochage et le serrage des bords pour former l'agrafure du tuyau. L'extrémité de la bande cintrée est introduite entre deux poulies à gorge *(fig. 6)*, qui lui donnent la forme cylindrique ; ensuite, le tuyau passe entre deux autres poulies *(fig. 7)* dont les bords sont en biseau, et sont aidés d'un petit galet, pour serrer l'agrafure et l'incliner de façon à être aplatie et rentrée à l'intérieur de toute son épaisseur, par une autre paire de poulies et un galet *(fig. 8)*. Les trois paires de poulies sont disposées à la suite pour opérer en un seul passage. Pour éviter la flexion, en face de chaque galet presseur est disposé un mandrin intérieur ou galet d'appui du tuyau.

Tuyaux rivés.

Le procédé de rivetage s'applique aux tuyaux dont le diamètre est supérieur à 100^{mm}, afin de pouvoir y introduire un mandrin ou tas d'appui présentant une résistance suffisante pour tenir le coup de marteau.

(1) Brevet Vauché-Denis du 1er juillet 1874.

Digitized by Google

Tuyaux rivés suivant la génératrice.

Les tuyaux cylindriques ordinaires sont formés de bandes de métal ayant pour épaisseur celle du tuyau et pour longueur celle d'un élément, soit une longueur variable moyennement de 1^m à 2^m ; afin de pouvoir aisément introduire les rivets par l'intérieur.

La bande correspondant à un élément est de largeur égale au développement du tuyau plus les recouvrements disposés suivant les génératrices.

L'opération consiste : 1° à enviroler la bande métallique sur un mandrin, soit au maillet, au marteau ou avec une machine à rouler ; 2° à percer les bords qui se recouvrent au poinçon à main si l'épaisseur est faible. Dans le cas d'épaisseur supérieure à 2 ou 3^{mm}, le perçage des trous, convenablement tracés pour se correspondre, se fait avant d'enrouler la bande ; 3° à river à froid ou à chaud suivant que les rivets sont de petit ou de gros diamètre et suivant le métal employé. Les rivures s'exécutent au marteau à main et à la bouterolle ou à la machine à river.

Si le tuyau est formé de tronçons s'assemblant par simple frottement, on ménage un serrage suffisant à l'emboîtement, soit en évasant l'une des extrémités ou en restreignant le bout emboîté sur une longueur de quelques centimètres. Ce moyen, suffisant pour les faibles épaisseurs et les petits diamètres, ne l'est plus pour les dimensions plus fortes qui exigent un assemblage à emboîtement complété par des rivets *(fig. 9* et *10)*, ou un assemblage à manchon *(fig. 11* ou *12)*.

Lorsque les éléments adjacents sont réunis par brides, chacune d'elles peut être formée par rabattement de l'about *(fig. 13,* ou mieux *fig. 14)*, avec une cornière envirolée, soudée ou non à ses abouts, puis rivée sur la virole et percée de manière à pouvoir être reliée avec celle de la virole correspondante, soit au moyen de boulons, soit avec des rivets.

Digitized by Google

Les brides d'assemblages de tuyaux dont les diamètres atteignent 1m,50 ou plus, largeur 0m,150 à 0m,200, sont exécutées à 1mm près en les rectifiant sur des mandrins. Quand l'épaisseur est inférieure à 10mm, elles se font par cintrage et soudage ; au-dessus, elles peuvent se laminer en partant d'un manchon coulé en acier doux, particulièrement lorsque l'importance d'une commande comporte des dizaines de mille pièces identiques.

Ces brides ont l'avantage de réduire le poids et d'assurer plus de sécurité aux assemblages que les brides en fonte analogues.

Un autre procédé consiste à former la bride par un pliage à double paroi ; on renfle d'abord au laminage l'extrémité sous forme de tore suffisamment prononcé, puis on aplatit le bout sur mandrin et dans une matrice, de manière à lui donner la forme d'une bride plate.

Emboutissage des brides cornières.

Les brides cornières pour l'assemblage des tuyaux sont facilement obtenues par le procédé d'emboutissage en matrices.

La matrice inférieure fixe A *(fig. 15)* présente un évidement pour la réception de la rondelle à emboutir R.

La rondelle R est percée d'un trou central de dimensions voulues. Chauffée au blanc, elle est placée sur la matrice A ; on fait agir le mouton ou la presse dont la tête porte le poinçon P qui passe à travers le trou, produit le rabattement du métal et transforme la rondelle en bride cornière.

Un seul coup suffit ordinairement pour refouler et emboutir la pièce. Cependant, dans certains cas, lorsque la rondelle est épaisse, il convient de faire agir deux ou trois fois le mouton si on opère par percussion.

Ces cornières sont ainsi obtenues rapidement et économiquement sans chances de rupture ; la partie ayant le moins

Digitized by Google

besoin de résistance est celle rabattue par le poinçon en même temps qu'elle se trouve amincie dans la proportion voulue (1).

C'est par les procédés de rivetage que sont confectionnés la plupart des tuyaux de fumée pour foyers ordinaires, les cheminées en tôle de fer pour chaudières, les conduites pour eau, certaines grosses conduites pour vapeur sous pression ou autres fluides qui exigent l'étanchéité des joints et motivent l'adoption de rivures simples ou doubles à rivets peu écartés, une exécution très soignée qui dispense d'interposer entre les bords des tôles un enduit au minium (2) ou une garniture spéciale devant empêcher les fuites.

Les coudes des gros tuyaux rivés se font en deux parties cintrées suivant la double courbure voulue ; les deux rivures d'assemblage correspondent au plus grand et au plus petit cercle de pourtour *(fig. 16)* ou aux cercles moyens *(fig. 17)*. La jonction d'une tubulure *(fig. 18)* se fait par rabattement, emboutissage au marteau de l'about emboîtant partiellement la partie cylindrique avec laquelle la tubulure est rivée.

Tuyaux à bande hélicoïdale.

Les tuyaux dont le diamètre est supérieur à $0^m,20$ sont aussi formés de bandes de tôle enroulées en hélice avec rivures à recouvrement.

Les tôles sont découpées à la scie circulaire ou à la cisaille circulaire à lames multiples.

L'enroulement en hélice se fait mécaniquement, de même que la rivure, au moyen d'une machine dont les dispositions sont représentées par les *figures 19 à 22* (3).

(1) Brevet à la Société Olry et Grandemange du 31 août 1883.

(2) Au siècle dernier, les conduites d'eau sous pression, ou de vapeur, constituées par des bandes de fer ou de cuivre rivées, avaient toujours leur bords à recouvrements enduits de plusieurs couches de minium liquide.

(3) Brevet Root, 17 novembre 1876.

Digitized by Google

La bande métallique est saisie par deux rouleaux alimentaires montés sur un châssis A *(fig. 21)* permettant d'obliquer à volonté la bande par rapport à l'axe de la machine, de façon que l'angle soit celui convenable suivant la largeur de la bande à enrouler et suivant les dimensions du tuyau en formation.

Ces rouleaux sont aussi ajustables en hauteur; ils donnent la forme voulue aux rebords de la bande, suivant que l'on veut produire un joint à plat ou un recouvrement à épaulement tel que celui *(fig. 24)* en A'; la bande étant enroulée de manière que le bord A' recouvre le bord R', le tuyau aura une surface intérieure unie.

L'alimentation se fait d'une façon intermittente; la bande passe entre une tige de pression H *(fig. 20)* et la courroie-guide T, laquelle suit une hélice autour des tiges G, J, dans la direction de l'avancement du métal; cette courroie est reliée, par ses deux bouts, au châssis de l'appareil alimentateur, de manière à participer à tous ses mouvements.

Le but principal de la tige G est d'agir sur la tige de pression H, et de saisir fermement la bande pour la porter en avant en suivant une hélice, par suite de l'oscillation de la selle D et du déplacement du châssis A.

Pour maintenir le tuyau, pendant qu'après un mouvement d'avancement, le mécanisme d'alimentation retourne à sa première position, un autre mécanisme d'accrochement est employé, dont les principales parties sont la tige de levier J, le levier K, et le support ou anneau P, sur lequel le doigt ou griffe du levier K agit *(fig. 20)*.

Ce mécanisme de prise est actionné par la tige L, le levier O qui permet au levier K d'accrocher le tuyau sur l'anneau P au moment où, par le soulèvement du levier M, les crochets ou crampons d'alimentation sont dégagés du tuyau avant leur mouvement de retour.

Le levier K *(fig. 20)* est un levier composé, pivotant dans une coulisse pratiquée dans une tige.

Digitized by Google

La bielle L est fixée au levier K à l'aide d'un joint sphérique et elle est reliée au levier O par un joint universel.

La selle D est montée sur des coussinets circulaires ajustés dans le bâti et y est maintenue par des anneaux lui permettant de tourner autour de l'axe principal de la machine dans l'arc d'un cercle; l'étendue de cet arc de mouvement est limitée par l'arrêt *b (fig. 21)*.

Le mouvement longitudinal de la selle est effectué au moyen de la pièce F et des pièces intermédiaires.

La pièce E et les dispositions auxiliaires d'assemblage déterminent le mouvement longitudinal de la selle D dans ses coussinets, lorsque la selle tourne par son mouvement de bascule autour de son axe.

L'étendue du mouvement longitudinal dépend de l'obliquité de la rainure de la face inférieure du bloc d'ajustage E par rapport à l'axe autour duquel la selle exécute son mouvement d'oscillation, et l'angle, entre ces parties, peut être changé à volonté suivant les nécessités du travail.

Le bout inférieur de la tige de pression H est armé d'un poinçon qui perce à chaque descente un trou de rivet dans les rebords en saillie de la bande métallique. Un sabot I est maintenu abaissé sur le recouvrement, pour empêcher la bande de monter avec le poinçon.

Les rivets sont mis en place automatiquement; chaque rivet est engagé dans la couture après que la pièce a dépassé le poinçon et avant d'atteindre le mécanisme de prise.

L'avancement ultérieur de la pièce entraîne les rivets successivement sous le bout du levier K ou la glissière de pression sur laquelle il agit *(fig. 20* et *23)*, et chaque rivure s'effectue.

Pour insérer les rivets dans les trous, on emploie le mécanisme *figures 26*, *27* et *28*. Un tube d'alimentation S est disposé de manière que chaque halte ou repos dans l'avancement du tuyau amène un trou poinçonné de la couture sous le bout de sortie du tube.

Digitized by Google

La roue dentée *r* agit à travers une coulisse pratiquée dans le tube et est reliée au châssis d'alimentation ou reçoit un mouvement de va-et-vient indépendant agissant ainsi sur les rivets. Ou bien *(fig. 28)*, un anneau glissant *t* est monté sur un levier; lorsqu'il est soulevé, les ressorts *u* saisissent le derrière de la tête du rivet, et, à son mouvement de retour, agissent comme pousseurs pour le faire sortir d'entre les ressorts fixes *s (fig. 26)*.

Le levier principal M, agissant sur l'alimentateur et sur l'appareil de prise, peut être mû à la main, ce qui, dans le cas d'ouvrages spéciaux, est préférable; dans la fabrication courante, ce levier est actionné mécaniquement.

Les *figures 23* et *24* montrent la disposition du levier K, de l'appareil de prise et de la glissière *n* pour river sous le tuyau, au lieu de le placer à l'intérieur *(fig. 20)*. Dans ce cas, un mandrin est placé à l'intérieur du tuyau pour tenir la pression. La tige de ce mandrin tourne sur la face courbe supérieure de la tige J'; la bielle L est munie d'une retraite où elle dépasse la tige du mandrin.

Les rivets sont alors de préférence insérés à l'intérieur du tuyau, ce qui nécessite l'emploi d'un tube à rivets courbe en certaines parties *(fig. 23)* pour lui permettre d'entrer dans le tuyau et de décharger convenablement les rivets dans les trous de la couture.

Quand on veut assembler les bords d'un tube en fixant les rivets dans l'intérieur, au lieu d'employer une glissière bouterolle U sur le levier K pour placer les rivets, ce levier peut être terminé en forme de fourche et plié comme *figure 25*; et de cette manière, étant pressé contre le joint du tuyau, les branches du levier permettent à la tige du rivet de passer entre elles, tandis qu'un marteau V frappe un ou plusieurs coups pour former la rivure.

Quand le joint de la bande est à agrafe, la partie agrafée des bords de la bande, préalablement formée au moyen des rouleaux du châssis *(fig. 26)*, ou autrement, est terminée par un

Digitized by Google

sabot V et un sommier W fixés au châssis fournisseur F *(fig. 21 a)*.

Les *figures 29* et *30* montrent un tuyau en formation avec joint à recouvrement se prêtant bien à l'emploi des rivets.

Si le tuyau doit être lisse extérieurement, c'est le bord R' *(fig. 24)* qui est en retrait, au lieu du bord A' et de telle façon que la nervure du tube fini se trouve à l'intérieur.

Les tuyaux ainsi fabriqués peuvent avoir toute longueur voulue, en réunissant, comme le montrent les *figures 29* et *30*, les abouts des bandes, soit par une soudure, soit par une couture telle que C'.

La machine permet de façonner des tuyaux de divers diamètres avec des bandes de différentes largeurs. A cet effet, on change la position verticale du châssis, du mécanisme alimentaire sur la plaque D formant selle, ce qui s'effectue au moyen d'une coulisse et d'une vis de réglage *j (fig. 20)*. A chaque changement de diamètre du tuyau un ajustement correspondant doit être effectué dans la barre-guide T, et la hauteur des rouleaux du châssis qui servent à façonner les rebords doit également être modifiée ; un nouvel anneau de support P doit être appliqué, et la longueur travaillante de la bielle L doit être changée, réglée par la vis de calage *o*.

Les tuyaux à bande enroulée sont parfois renforcés par un fer profilé (section à T ou en U) qui peut aussi servir de couvre-joint de manière à éviter le recouvrement des bords enroulés, la paroi étant rivée avec le couvre-joint hélicoïdal.

Tuyaux soudés.

Suivant que la soudure est ou non autogène, on les distingue en tuyaux soudés ou en tuyaux brasés. Si l'épaisseur est faible (moins de 1^{mm}), la bande métallique est envirolée avec recouvrements ordinaires en employant une épaisseur de tôle égale à celle du tuyau lorsque celui-ci ne subit pas

Digitized by Google

d'étirage au moment de la soudure ou après ; soit, par exemple, quand il s'agit de tuyaux en zinc dont la soudure est faite en faisant couler entre les bords à recouvrement un alliage dit soudure à base de plomb et d'étain en proportions variables.

Les tuyaux en cuivre et ceux en fer étant régularisés, étirés après soudure, on envirole des bandes dont l'épaisseur est un peu supérieure pour tenir compte de la perte de matière au réchauffage et de la diminution d'épaisseur résultant de l'étirage.

Cependant, pour les tuyaux en cuivre simplement régularisés par deux ou trois passages à la filière, on adopte comme épaisseur de la bande, celle du tuyau. Souvent même l'étirage a pour effet d'augmenter légèrement l'épaisseur de la paroi.

Tuyaux soudés suivant une génératrice.

La confection des tuyaux soudés suivant une génératrice comporte ordinairement :

1° Le découpage des bandes dans une tôle ou le laminage direct de bandes à largeurs déterminées.

2° L'amincissement des bords de la bande si le joint est à recouvrement oblique.

3° Le virolage de la bande.

4° Le soudage ou brasage du joint.

5° L'étirage du tuyau.

6° Les opérations diverses de finissage.

Le découpage des bandes est appliqué de préférence au laminage à largeur, particulièrement pour les tubes en fer soudés par simple rapprochement, la coupe de la cisaille circulaire munie de guides donnant une section nette et propre facilitant la soudure.

Pour les tuyaux de zinc, de cuivre, de laiton, les tôles découpées comprennent un certain nombre de bandes, tandis que, pour les tubes de fer et d'acier doux, le large plat correspond à trois ou quatre tubes.

Les bandes ont une longueur courante de 4 à 6^{m}.

Digitized by Google

La largeur de la bande varie de $0^m,50$ à 1^m. Avec des largeurs moindres, la bande sortirait gauche du laminoir et donnerait un grand déchet de rognures.

Des tôles de largeur plus grande ne présenteraient plus une épaisseur aussi uniforme, ce qui, au soudage, présenterait certaines difficultés. Lorsque pour des gros diamètres on lamine la bande à largeur exacte, on préconise l'emploi d'un trio à cannelures ABCDE *(fig. 31)*.

Ordinairement, pour les tubes en fer étiré, l'épaisseur de la tôle est tenue de 12 à 15 0/0 plus forte que celle du tube achevé. Couramment cette épaisseur varie de 2 1/2 à 5^{mm}.

Pour tenir compte des chutes, la longueur des bandes est de 200 à 300^{mm} plus longue que le tube; pour les tubes soudés à recouvrement, la largeur excède de 8 à 10^{mm} le développement du tube. On admet un recouvrement minimum égal à deux fois l'épaisseur ou égal à 15 0/0 du diamètre.

Les tôles en fer soudé ou en fer fondu sur sole d'un four Martin sont toujours de qualité supérieure. Certaines usines à tubes les laminent, d'autres les reçoivent des forges.

Ces tôles ne sont pas recuites; on les asperge d'eau au dernier passage du laminoir, pour enlever les battitures. Le triage de ces tôles se fait soigneusement afin d'éviter que les défauts tels que pailles, criques, en se développant à l'étirage, ne donnent lieu à des rebuts.

Amincissement des bords.

Les tuyaux devant supporter de fortes pressions se soudent sur recouvrement en sifflet, ce qui nécessite l'amincissement des bords ou pinces *(fig. 32)*.

Les bandes de cuivre sont biseautées par martelage avec un marteau mécanique à action rapide.

La bande placée sur un chariot roulant sur rails est présentée à l'outil de manière que celui-ci agisse progressivement.

Pour les tubes en fer à recouvrement, le bord est chanfreiné

Digitized by Google

par un outil tranchant qui se déplace tout le long de la pièce et opère en une passe. L'angle varie de 20 à 25°. Le chanfreinage se fait en même temps sur les deux côtés par deux outils montés sur un chariot se déplaçant le long d'un banc, la pièce étant fixée sur une tablette. Ou encore, les outils sont fixes, c'est la bande qui est tirée.

On utilise aussi le procédé de meulage, moins rapide et moins économique.

Les chanfreins étant parallèles, il y a lieu de retourner la bande lorsque le premier chanfrein est fait, et de bien repérer sa position pour obtenir une largeur constante, ce qui est un point essentiel pour assurer une bonne soudure. Souvent, à tort, les deux chanfreins sont du même côté de la bande, ce qui nécessite, au roulage, la flexion prononcée des pinces qui ne se rejoignent pas exactement et donnent lieu soit à une soudure défectueuse, à des bâillements, à des bavures ou à des surépaisseurs, tandis que si les chanfreins sont parallèles, ce qui n'est pas plus difficile à obtenir, le contact à l'ébauchage se fait mieux, la soudure et l'uniformité d'épaisseur sont plus assurées.

Afin de supprimer le chanfreinage des bandes de fer, elles viennent parfois de laminage à largeur exacte avec chanfreins dont la régularité laisse assez souvent à désirer.

La *figure 33* montre la disposition des cylindres d'un trio à bandes biseautées.

Cette façon convient lorsqu'on prépare le biseau à la meule d'émeri; l'outil a moins de métal à enlever.

Virolage des bandes.

Lorsqu'il s'agit de tuyaux en cuivre ou en laiton que l'on confectionne à mesure des besoins dans les chaudronneries, le virolage se fait à froid dans une auge en bois, espèce de banc *(fig. 34)* présentant une gorge en V. La bande est placée sur

Digitized by Google

ce mandrin et l'ouvrier l'applique contre les parois avec un maillet, puis il la cintre sur une barre de bois, de manière que finalement, le tuyau présente la forme *figure 35*, la partie de plus petit rayon de courbure correspondant à la soudure. Avec cette forme, la dilatation, pendant l'opération de brasage, a moins d'effet pour écarter les lèvres du joint.

Les tuyaux en zinc n'étant pas chauffés pour faire la soudure, on leur donne la forme cylindrique bien régulière avec une machine simple à un rouleau *(fig. 36)*. L'un des bords de la bande étant engagé dans l'entaille du rouleau B *(fig. 37)*, la rotation de celui-ci virole le tuyau; puis, pour rabattre la pince intérieure pliée et bien l'appliquer sur la pince extérieure, le tuyau est soumis à l'action d'un galet presseur monté sur une crémaillère *(fig. 38)* guidée parallèlement au support du tuyau.

L'envirolage des tuyaux est encore obtenu rapidement et avec exactitude en employant une machine telle que celle *figures 39* et *40* (1).

Un galet A tournant dans une large gorge d'un galet B, oblige la bande de tôle C, présentée à son entrée, à se cintrer suivant la gorge B. Le déplacement de la bande la soumet à l'action d'une deuxième paire de galets DE, dont la gorge est plus étroite que la précédente, ce qui continue l'opération de cintrage.

A la sortie de la gorge de E, la bande en forme d'U se présente sur deux galets à gorges H et au-dessous de deux galets I qui la forcent à pénétrer le plus profondément possible dans les gorges H et à fermer les bords de la bande en U.

A la sortie de ces derniers organes, la tôle se rapproche sensiblement de la forme définitive du tuyau à obtenir et on peut procéder au brasage ou au soudage.

La bande C, à son entrée dans la machine, glisse entre deux groupes de tringles horizontales L et quatre curseurs M

(1) Machine de M. Fraignac. Brevet du 24 septembre 1890.

Digitized by Google

servent de guides. Suivant le diamètre du tuyau, l'écart entre les galets I et les gorges H varie. De plus, les gorges BEH sont en deux parties pouvant s'éloigner ou se rapprocher suivant le diamètre du tuyau.

Certaines machines comprennent quatre disques à gorge *(fig. 41)*, disposés deux à deux en regard et montés sur des arbres placés rectangulairement entre eux, possédant la même vitesse par entraînement.

La feuille de zinc ou de cuivre, étant cintrée à une extrémité à la main sur un mandrin, est engagée entre les disques qui l'enveloppent et lui donnent la forme d'un tuyau à recouvrement qu'il suffit de souder.

En déplaçant les disques on peut obtenir des tuyaux de diamètres variables.

On emploie également pour enviroler les tuyaux ordinaires le mandrin à évasement prononcé *(fig. 42)*, monté sur un banc à tirer *(fig. 43)* dit banc à cintrer; c'est-à-dire que le banc sert aux deux opérations, à volonté, d'étirage et de roulage.

Le banc est actionné à la main ou mécaniquement.

Cintrage des tubes en fer.

Le roulage ou cintrage des tubes en fer ou acier doux se fait à chaud au rouge cerise, au banc à cintrer ou à une machine à rouler. Cette opération préliminaire est très importante pour la réussite de la soudure.

On donne d'abord une forme conique à l'une des extrémités. Pour cela, on chauffe la bande sur une longueur de $0^m,20$ à $0^m,25$ dans un four.

A côté de la porte du four est disposée une enclume ou une étampe sur laquelle deux hommes façonnent le bout comme le montre la *figure 1*, *planche 30*. On introduit alors les bandes par séries de 10 à 12 dans un four à gazogène de 6 à 7^m de longueur, $0^m,60$ de largeur, en plaçant le bout ébauché près de la porte.

Digitized by Google

A proximité du four se trouve le banc à cintrer *(fig. 2)* qui se compose d'une table en fonte de 12 à 14^m de longueur minimum, 0^m,80 de largeur et 0^m,80 de hauteur.

La moitié arrière de cette table est recouverte d'une tôle sur laquelle on pose la bande sortant du four à la température du rouge cerise. Avec une température plus élevée, le métal ne posséderait pas assez de ténacité pour résister à la traction.

Un mandrin-filière en fonte à paroi interne bien tournée en forme d'entonnoir *(fig. 3)*, est solidement fixé au milieu de la table. On introduit l'extrémité conique à travers le mandrin.

Le bout est saisi par une tenaille *(fig. 4)* dont les branches sont armées d'une chaîne de tenue que l'on accroche au chariot du banc mû par une chaîne de Galle à transmission mécanique.

En même temps qu'un homme pose la tenaille, un autre accroche la chaîne afin d'opérer rapidement. Le tube est entraîné à travers le mandrin et prend la forme cylindrique. La vitesse de passage est d'environ 1^m par seconde.

Le petit diamètre du mandrin est égal au diamètre extérieur du tube; le grand diamètre est de trois à quatre fois plus grand; de même, la longueur du mandrin est de quatre à cinq fois le diamètre du tube. Le mandrin peut être en deux parties dont l'une est mobile pour régler à volonté la pression et permettre de faire plusieurs diamètres.

Il se produit généralement des bosses sur les lèvres *(fig. [illegible])*; elles sont rabattues au maillet ou au petit marteau en même temps que l'on dresse le tube sur un banc en fonte, en le faisant rouler et y appliquant quelques coups de maillet où il convient.

Il importe que les lèvres ne soient pas en contact afin que le sable fondu pénètre et qu'elles ne collent pas dans le four.

Cintrage avec rouleaux multiples.

Le cintrage des tubes à recouvrement se fait aussi avec une machine à quatre rouleaux en acier. Trois de ces rouleaux

Digitized by Google

(fig. 6) ont une position invariable par rapport au bâti qui les supporte; le quatrième est mobile pour permettre le dégagement du tube formé à un diamètre supérieur à celui qu'il doit avoir finalement. Le premier des trois cylindres fixes se trouve directement au-dessous du cylindre mobile, de façon que la feuille à cintrer se trouve horizontale au moment de son engagement. Le tube se cintre par la pression des deux autres rouleaux, et son élasticité donne, après le cintrage, un jeu suffisant pour le retirer aisément.

Les rouleaux peuvent s'écarter à volonté suivant l'épaisseur de la bande métallique à cintrer, qui est chauffée au rouge et placée sur une tablette portant à l'arrière un rebord contre lequel bute la bande.

Cette tablette s'approche ou s'éloigne à volonté des rouleaux au début du travail pour engager la bande.

Le cintrage achevé, on dégage le rouleau sur lequel est enroulé le tube et celui-ci est enlevé et jeté sur le tas. En même temps, une autre bande rouge est placée sur la plate-forme, le rouleau est remis en place et, en produisant un léger avancement de la table, la feuille s'enroule.

L'opération continue ainsi d'une façon ininterrompue. Le mouvement des trois cylindres tournants est donné par engrenages de même diamètre. La rotation en est continue. L'enroulement se fait à vitesse modérée pour éviter le passage entre les rouleaux du recouvrement du tube. La poulie de commande est d'ailleurs réunie à l'arbre de commande des rouleaux par un embrayage à friction limitant la puissance de la machine et destiné à arrêter le mouvement en cas d'accident.

La manutention des plaques et celle des tubes sont rapides; la machine est placée à côté des fours à réchauffer.

Le cintrage demande en moyenne 10″; la manutention de la feuille et du tube, chacune 20″, soit 50″ pour la préparation d'un tube.

La température du four à chauffer les bandes ne doit pas être

Digitized by Google

très élevée, pour éviter l'oxydation trop forte du métal, qui n'a d'ailleurs pas besoin d'une haute température pour se cintrer dans de bonnes conditions.

Il convient d'examiner tous les tubes roulés et de réparer ceux laissant à désirer et qui pourraient donner de mauvais produits.

Cintrage au mandrin et au laminoir.

Quelquefois, à la sortie du laminoir formant directement la bande de tôle, celle-ci est déprimée à une extrémité de manière à prendre la forme d'un U au moyen d'une étampe et sous-étampe *(fig. 7* et *8)*. L'étampe supérieure est actionnée par un levier F.

Après cette opération, la bande est présentée dans un mandrin à embouchure évasée *(fig. 9* et *10)* placé à l'entrée des cylindres d'un laminoir. Une languette O déprime la bande à son passage dans le mandrin et sert en même temps de guide.

La bande sort du mandrin sous forme d'un U, puis elle est saisie par les cylindres à gorge semi-circulaire qui complètent le cintrage en appliquant les bords l'un contre l'autre ou à recouvrement.

Le mandrin est en deux parties *(fig. 11* à *14)*, celle supérieure est solidaire d'un levier permettant de régler à volonté la dépression produite par le mandrin, en facilitant l'introduction de la bande au début de l'opération, qui se fait ainsi plus rapidement qu'avec le banc à tirer.

Laminoir rouleur.

Le laminoir rouleur est placé au plus près de la porte du four à chauffer les bandes de tôle et peut encore présenter la disposition *figures 13* et *14*.

Au sortir du four la bande B passe entre les rouleaux A et C *(fig. 15)* et prend la forme d'un U ; le rouleau A est muni de plusieurs gorges correspondant à diverses dimensions.

Digitized by Google

Le galet C est rechangeable et peut se placer à volonté en face de chaque gorge de A.

L'arbre du galet C est déplaçable verticalement pour régler sa position à volonté par rapport au rouleau A.

A sa sortie de cette première paire de rouleaux la bande en U passe à travers le mandrin M, qui ferme, rabat les branches de l'U et livre ainsi la pièce à une deuxième paire de cylindres DE, pourvus de gorges qui achèvent de donner la forme cylindrique et régularisent l'opération qui se fait ainsi très rapidement par un seul passage entre trois outils agissant simultanément.

Soudage des tuyaux.

Les tuyaux en zinc se soudent à froid au moyen d'une soudure ou alliage formé de 1 ou de 2 parties d'étain avec 2 ou 1 partie de plomb.

On fait fondre la soudure entre les bords à recouvrement, à l'aide d'un fer à souder ou d'un chalumeau à gaz.

Pour les tuyaux en cuivre, l'opération est aussi très simple, mais elle se fait à chaud à la température du rouge capable de mettre en fusion l'alliage dit *brasure* composé de

$$\frac{40 \text{ de zinc}}{60 \text{ de cuivre}} \text{ à } \frac{75 \text{ de zinc}}{25 \text{ de cuivre}}.$$

On a soin de saupoudrer les parties à souder de borax mouillé et de recouvrir le joint, à l'intérieur, d'une petite bande ou auge qui sert à placer le borax et la brasure et aussi à concentrer la chaleur sur le joint.

Le chauffage se fait au gaz avec régularité dans un four à braser de longueur supérieure à celle du tube et de faible largeur. Vers l'avant du four, le chauffage est plus intense et l'ouvrier règle le déplacement du tube comme il convient à mesure que l'alliage est fondu.

La construction des cadres de bicyclettes a donné lieu à l'emploi de tubes brasés obtenus en laminant une billette d'acier doux en bande, dont les bords présentent des empreintes à

Digitized by Google

queue d'hironde telles qu'elles correspondent pour s'emboîter après roulage, sans qu'il y ait surépaisseur et de manière à produire une couture étanche après brasage. On obtient ainsi des tubes de 30^m de longueur. Le brasage est aussi appliqué aux tuyaux de fer qui ne doivent pas supporter de grandes pressions.

Les tubes en fer soudés à franc bord par rapprochement *(fig. 19)* sont chauffés au blanc soudant dans un four et la soudure se fait par le passage à travers un mandrin-filière qui produit un certain étirage. Le mandrin est en deux parties montées sur deux leviers articulés de manière à pouvoir être manœuvrés par deux ouvriers se tenant de chaque côté du banc à souder. Les bords du mandrin sont à arête vive, afin de polir les tuyaux.

Les ébauches sont placées par séries de 5 ou 6 dans un four ouvert aux deux bouts. Quand elles sont au blanc soudant, un ouvrier pousse chaque tube hors du four, un autre le saisit et le présente au mandrin; un autre ouvrier saisit l'extrémité du tube avec la tenaille du chariot du banc; les parties du mandrin sont rapprochées et maintenues pendant l'étirage qui se fait à une vitesse telle que l'on puisse souder au moins la moitié du tube. Ce dernier, étant dégagé de la filière, est réchauffé pour souder et étirer l'autre moitié.

Un passage supplémentaire produisant un faible étirage sur toute la longueur régularise le tuyau. Les deux parties du mandrin doivent bien correspondre, autrement le tube présentera des défauts.

Les filières étireuses sont ou non disposées sur le même banc que la filière soudeuse. Souvent les deux premières sont placées tout près l'une de l'autre et correspondent à une opération; la troisième, disposée à la suite, reçoit le tube non réchauffé et l'achève. Néanmoins, si le tube est long, l'opération se faisant avec une vitesse assez faible, on est obligé de réchauffer le tube.

Dans ces tubes, la soudure est plus ou moins bonne; on ne saurait ployer ces tuyaux sans déterminer le décollage.

Digitized by Google

Mandrin avec guide.

Avec le mandrin à entonnoir ordinaire, il arrive souvent que les bords de la bande, en se repliant, en se roulant, se croisent inégalement et occasionnent des déchets et des irrégularités dans l'épaisseur des tubes.

Pour les tubes soudés à franc bord, il se produit des rentrures ou des croisements que l'on évite en adoptant le mandrin *(fig. 20, 21* et *22)* (1) comportant une cloison A, de fer, de fonte ou d'acier, sur les côtés de laquelle viennent s'achever deux autres cloisons C, dont la courbure à l'arrière est parallèle à celle de la circonférence du col D.

Il existe, entre les cloisons C et la surface intérieure du mandrin D, un intervalle égal à l'épaisseur du tube à obtenir.

Si l'on passe une bande rougie à blanc avec enroulement amorcé, les bords de la bande s'appuient d'une part contre les faces de la cloison A, qui se termine en biseau à l'arrière, pour se souder ensuite côte à côte, et les cloisons C s'opposeront à ce que les bords de ladite bande se croisent et produisent des inégalités dans l'épaisseur du tube.

Lorsqu'on opère au laminoir, la cloison A est fixée à des bras maintenus sur le bâti; elle est disposée à la partie antérieure des cylindres lamineurs et au plus près de l'entrée.

Afin d'éviter l'ajustement de filières successives indépendantes, il est préférable d'employer une filière d'une seule pièce *(fig. 24)* à plusieurs diamètres minima, qui correspondent aux réductions progressives a faire subir au tube.

L'entrée de la filière E est fortement évasée pour produire le cintrage de la bande et une première compression annulaire pour le soudage du joint, puis la partie A produit une première réduction en complétant la soudure, la partie B réduit le tube au diamètre déterminé.

---

(1) Brevet Gandillot du 5 août 1863.

Digitized by Google

Pour la manœuvre du tube, on l'amorce et on soude à la bande de métal une tige T *(fig. 25)* qui s'attache à la pince du banc à tirer.

Pour faciliter l'expulsion des battitures ou oxydes métalliques, la filière est percée de trous C.

La filière (1) est faite en acier ou en fonte dure.

Le soudage des tubes à recouvrement *(fig. 26)* se fait au blanc soudant au moyen d'un laminoir soudeur.

Le chauffage régulier sur toute la longueur est une des grandes difficultés de la fabrication.

Il se fait dans un four dont le gazogène se trouve sur le côté, de façon à distribuer la flamme sur la plus grande partie de la longueur du four.

On chauffe huit à dix tubes à la fois; on introduit les tubes d'un côté du four; ils sont retirés de l'autre côté pour passer au laminoir qui se trouve à environ 1^m du four. Les tubes, avant leur entrée dans le four, sont arrosés d'eau sur le joint et saupoudrés de sable pur, qui forme un silicate fusible avec les oxydes, et contribue pour beaucoup à donner une bonne soudure et une surface bien nette.

Le laminoir à souder comprend deux cylindres à gorge *(fig. 28)* commandés par des engrenages de manière à tourner en sens contraire à la vitesse de 60 à 120 tours par minute, selon le diamètre des tubes.

Lorsque les cylindres sont dans la position convenable au travail de soudage, la cannelure formée par les gorges est à peu près un ovale un peu plus large que haut.

La position du cylindre supérieur est réglée par les vis VV.

La cannelure est disposée à la même hauteur que la sole du four. A l'arrière du laminoir se trouve un support S *(fig. 27)* en fonte pouvant se déplacer sur une plaque à rainures. Ce support porte une échancrure; il est fixé à une distance convenable

(1) Filière Gandillot et Pritchard.

Digitized by Google

du laminoir suivant la longueur des tubes. Une longue tige de fer T repose sur le support et s'y trouve arrêtée par un collet.

Du côté du laminoir, la tige est munie d'un mandrin M en fonte dure *(fig. 29)*. Ce mandrin bute contre un collet de la tige T ; il est emmanché à léger frottement; il sert à diriger et à soutenir le tube qui se soude entre le mandrin et la cannelure des cylindres, où il est engagé de manière à se trouver à peu près au milieu vers l'aplomb des axes des cylindres.

L'opération est la suivante: un homme place la tige T armée du mandrin M.

Deux hommes placés de chaque côté de la porte du four saisissent un tube avec des tenailles et le poussent rapidement vers les cylindres, en ayant soin de présenter les deux lèvres à souder à la partie supérieure.

La cannelure étant un peu moins haute que large *(fig. 30)*, il se développe une pression à l'endroit du joint.

Le mandrin M se trouvant emboîté par le tube sert de support et la réaction qu'il reçoit à l'intérieur écrase les lèvres, soude le métal par compression. La pression varie avec l'épaisseur du tube.

L'opération est rapide pour éviter le refroidissement avant soudure; la vitesse circonférencielle est d'environ 4^m par seconde.

A sa sortie, le tube est supporté par la tige T.

Aussitôt l'un des manœuvres, avec une barre, fait glisser le mandrin, la tige T étant relevée, puis le tube enlevé est remis dans le four pendant quelques minutes pour passer une deuxième fois au laminoir. Ce deuxième passage est surtout motivé parce que les mandrins, que l'on a d'ailleurs soin de rechanger souvent, s'usent promptement; l'épaisseur des tubes est légèrement plus forte à l'extrémité qui passe en dernier lieu dans les cylindres, le métal étant déjà moins chaud qu'au début de l'opération.

Pour le deuxième passage, avant de renfourner le tube, il est retourné bout pour bout, de manière à emboucher la pre-

Digitized by Google

mière l'extrémité du tube qui, lors de la première passe, était laminée la dernière. Parfois le tube est passé trois fois au laminoir.

On arrive ainsi à régulariser l'épaisseur convenablement; cependant, et malgré le passage au banc à tirer, qui, lui aussi, régularise l'épaisseur, on constate toujours sur les tubes finis une légère différence d'épaisseur entre les deux extrémités (1) et le recouvrement doit être égal à environ deux fois l'épaisseur du tube. Quant à la soudure, elle doit être exempte de surépaisseur. S'il existe des bavures de laminage, il importe de les enlever au banc à ébarber. Après ébarbage, les tubes sont réchauffés au rouge clair pour passer successivement dans deux ou trois lunettes mandrins. On a soin d'arroser lors du dernier passage pour enlever les battitures et éviter les rayures.

Les tiges T varient nécessairement de dimensions suivant la longueur et le diamètre du tube.

Une nombreuse série de mandrins est à la disposition des lamineurs.

Pour des tubes de 100^{mm} de diamètre et de 4^{m} de longueur, la tige a un diamètre de 30 à 35^{mm} au corps de la tige, 60^{mm} aux collets et environ 5^{m} de longueur entre le support et les cylindres.

Les cylindres du laminoir varient avec le diamètre des tubes dans une certaine limite déterminée par la réduction de diamètre au passage du banc à étirer, qui réduit le diamètre de 4 à 5^{mm}.

Il s'ensuit que les diamètres des cylindres varient à peu près de $0^{m},010$. Ils ont des diamètres depuis $0^{m},550$ à $0^{m},650$ et une largeur de $0^{m},12$ à $0^{m},20$.

Le laminoir dit à gros tubes soude les diamètres de $0^{m},10$ à

(1) La tolérance en poids pour de grandes livraisons de tubes à fumée est de 1/20 en plus ou en moins du poids normal prévu; de 5^{mm} en plus sur la longueur; un quart de millimètre à 1^{mm} en moins sur l'épaisseur moyenne estimée par des pesées en prenant 7,8 pour valeur de la densité; 15 0/0 en moins et 20 0/0 en plus sur l'épaisseur en un point quelconque.

Digitized by Google

0m,30; si on admet que le diamètre au fond des gorges des cylindres reste sensiblement le même, il s'ensuit que la distance des axes des cylindres doit varier d'environ 0m,20. Les cages doivent être construites pour permettre cette variation qui nécessite également le changement des engrenages.

La grosseur des mandrins varie aussi avec le diamètre des tubes, à peu près dans la même porportion que celle des cylindres. Il en faut, par conséquent, une série nombreuse, étant donné qu'ils s'usent très rapidement.

Un laminoir soude 100 à 400 tubes par jour suivant que l'on opère en deux ou en trois chaudes et suivant le diamètre des tubes, qui atteint très exceptionnellement 0m,50 à 0m,60, diamètres qui exigent le plus souvent l'emploi de la méthode ordinaire du soudage au marteau sur chauffes partielles au gaz ou à l'électricité.

Ce laminage exige beaucoup d'attention, des manœuvres rapides et précises, particulièrement pour le placement du mandrin dans le bout du tube et à l'endroit convenable dans la cannelure.

Le laminoir est muni de racloirs nettoyant les cannelures, ce qui est utile pour éviter les défauts superficiels. Les cylindres s'usent aussi rapidement, il faut les rectifier souvent.

Le moteur est généralement une machine à vapeur d'une trentaine de poncelets, dont le mouvement est transmis par des engrenages.

Les tubes de diamètre relativement petit et de grande longueur ou d'épaisseur relativement forte doivent passer dans plusieurs cannelures décroissantes, soit dans plusieurs laminoirs à cylindres à cannelure unique, soit dans un ou deux laminoirs à cylindres à cannelures multiples *(fig. 31 à 35)*.

On ébauche le soudage et le laminage dans l'une des plus grandes et on termine dans les suivantes, en réduisant le diamètre à volonté.

Lorsqu'on se sert de plusieurs paires de cylindres, il convient

Digitized by Google

de les disposer sur un seul alignement avec axes alternativement verticaux et horizontaux, de telle manière que le tuyau passe successivement et d'une façon continue à travers chacune des paires de cylindres dont la vitesse respective doit être en rapport avec le degré d'étirage.

La conduite du travail dans un laminoir continu est très difficile et comme la pièce n'a pas une grande longueur, ce mode d'opérer est délaissé.

Les tubes laminés sont calibrés au mandrin-filière en un ou plusieurs passages.

Les tubes à extrémité renflée ont le renflement *(fig. 36* et *37)* ménagé à l'étirage au mandrin en limitant le passage en conséquence. A cet effet, souvent le banc est pourvu d'un mécanisme de débrayage automatique arrêtant la traction. L'about du tube est parfois renforcé par une manchette qui l'emboîte et que l'on soude en étampes ordinaires sur l'enclume *(fig. 38)*.

Laminoir rouleur et soudeur (1).

Quand la lame est enroulée et soudée du même passage en une seule chaude, le laminoir peut présenter la disposition *figures 1* à *4*, *planche 31*, comprenant une paire de cylindres AA′ cintrant la bande métallique en forme d'auge.

L'ébauche est guidée à la sortie de ces cylindres et se dirige entre les cylindres BB′ à axes verticaux qui achèvent le roulage du tube et agissent en combinaison avec un troisième cylindre ou galet soudeur G à axe horizontal disposé comme le montre la coupe *figure 4*, de manière que les trois outils forment une cannelure circulaire à travers laquelle le tube est formé et soudé par la pression simultanée des trois cylindres.

Le tube est dirigé entre les galets à axes horizontaux CC′, puis entre les galets à axes verticaux DD′ qui régularisent la forme au plus près et dressent le tube tout en le dirigeant vers la table de réception.

(1) Brevet Huggins du 13 janvier 1875.

Digitized by Google

Entre les cannelures des cylindres soudeurs est toujours disposé le mandrin intérieur supportant le métal.

Un autre procédé consiste à préparer des fers creux en gouttière *(fig. 5)* au moyen des cylindres *(fig. 9* et *10)*. Ces fers étant assemblés sont portés au blanc soudant et passent au laminoir soudeur *(fig. 13, 14* et *15)* (1).

Ce laminoir présente des cannelures semblables à celles qui servent à la fabrication des fers ronds. Un mandrin soutient les parois du tube et en assure la soudure tout en calibrant l'intérieur et agissant par refoulement du métal, de telle sorte que cette première opération laisse au tube une épaisseur triple de celle qu'il doit avoir.

Le tube soudé est chauffé de nouveau, puis introduit dans une cannelure d'étirage du laminoir finisseur *(fig. 16)*. Cette cannelure agit de concert avec un mandrin M divisible et mobile servant à maintenir le tube, quelles qu'en soient la force et l'épaisseur.

Par exemple, un tube de 2^{m} de longueur, à sa sortie du four, est porté dans la cannelure ; la partie mobile du mandrin étant enlevée, la cannelure extensible est alors le plus large possible. Dès que le tube est arrivé à son extrémité, l'aide lamineur introduit la partie mobile A dans l'olive du mandrin fixe M et tend rigidement les deux parties au moyen du petit volant V ; le lamineur renverse alors le mouvement de son train en actionnant le levier L, qui fait agir le tiroir du moteur à marche inverse ; en même temps, il agit sur le volant-manivelle K placé à l'extrémité du train, pour resserrer les organes lamineurs en tous sens, et l'étirage se fait en traction vers le mandrin.

L'action inverse et un nouveau serrage de la cannelure amincissent encore le tuyau, et l'on continue jusqu'à ce qu'il soit arrivé à la dimension voulue.

---

(1) Brevet du 27 août 1880, M. Lemonnier.

Digitized by Google

La cannelure extensible peut présenter toutes les dimensions et toutes les formes possibles de manière à fabriquer des tubes cylindriques ou prismatiques à section carrée ou polygonale, des tubes à nervures *(fig. 7, 8, 11* et *12)*.

Étirage des tuyaux soudés.

Le passage des tubes à travers le mandrin d'un banc à tirer a pour but de régulariser les tuyaux dont le diamètre est assez grand pour permettre la réussite des opérations précédentes. Mais les petits tuyaux proviennent de plus gros que l'on soumet à un étirage prononcé par de nombreux passages à la filière.

Avant d'étirer les tuyaux en zinc, laiton ou cuivre, on a soin d'enlever à la râpe ou à la lime l'excès de soudure ou de brasure.

Pour ces tuyaux, l'étirage se fait à froid sur un banc ordinaire *(fig. 17)* et à faible vitesse, en ayant soin d'arroser le métal avec un mélange d'eau, d'huile et de savon.

On dispose souvent pour les tuyaux brasés deux filières superposées, la première rondit le tuyau, la deuxième produit une réduction de diamètre de 1 à 2^{mm}, ce qui suffit ordinairement.

L'étirage des tuyaux ordinaires en cuivre permet aussi de les mettre à longueur suffisante, en diminuant très peu leurs diamètres. Ainsi, quand il manque quelques centimètres de longueur, il suffit de faire un passage supplémentaire dans un mandrin plus petit de 1^{mm}.

Si l'étirage est prononcé, on a soin de recuire les tuyaux après quelques passages, afin de leur restituer la ductilité permettant le travail.

L'étirage des tubes en fer soudés au laminoir se fait immédiatement après le dernier passage avec ou sans réchauffage nouveau.

Digitized by Google

Chaque tube subit ordinairement deux étirages sans le réchauffer.

On emploie des bancs à tirer ordinaires qui sont munis d'enveloppes de tôle servant à protéger le tube contre l'air extérieur qui activerait le refroidissement.

Dans un premier passage, le tube subit une réduction de diamètre de $0^{mm},5$ à plusieurs millimètres suivant la grosseur, tandis qu'au deuxième passage le mandrin n'étire plus, il calibre simplement le tube et le polit. Le mandrin est en fonte dure *(fig. 18)* dont le trou conique est terminé à vive arête pour enlever les battitures. On a soin d'ajouter un peu d'étain à la fonte des gros mandrins afin d'assurer l'homogénéité du métal.

Pour les petites dimensions jusqu'à 30 et 40^{mm} de diamètre, les bagues-filières se font en acier de qualité spéciale.

Pendant l'étirage, le tube est arrosé avec de l'huile pour faciliter le travail et produire un certain lissage de la surface extérieure. La température fait flamber l'huile. Quelquefois les tubes en fer fondu ou acier Martin (1) subissent un étirage prononcé; par exemple pour les chaudières marines, on impose le soudage à 100^{mm} d'un tube de 80^{mm} de diamètre. Le diamètre primitif est réduit à basse température, 200 à 300°, au diamètre de 80^{mm} par quatre à six passages au mandrin-filière par des réductions de 4 à 5^{mm} en diamètre à la vitesse de 4 à 5^{m} par minute.

Cet étirage à température voisine du point critique de ductilité du métal (vers cette température, le métal est cassant, peu ductile) donne lieu à des rebuts assez nombreux. Il serait préférable de faire cet étirage à chaud, au rouge, ou mieux de se contenter d'un ou deux passages à froid avec réduction modérée de 1 à 2^{mm} pour bien calibrer le tube et lisser la surface. Certaines administrations imposent que l'épaisseur en un point quelconque ne doit varier que de 1/10 en plus ou en moins. Ces

(1) Les tubes de chaudières se font, pour la plupart, en fer fondu ou acier Martin de qualité soudant aisément. On prévoit que d'ici quelques années le fer soudé sera abandonné complètement.

Digitized by Google

Ces tubes subissent une épreuve de pression s'élevant à 75^{kg} par centimètre carré, ce qui est excessif pour des pièces devant supporter des pressions de 8 à 20^{kg} au plus.

La soudure de ces tubes est vérifiée en décapant le métal dans l'eau acidulée, ou bien on coupe à la scie ou avec un galet d'acier les deux bouts du tube pour juger si la soudure est bonne. On compte à chaque bout sur une chute moyenne de 0^{m},30.

Tuyaux à couvre-joint.

On a essayé de constituer les tubes au moyen de bandes cintrées coupées à longueur et superposées de façon à recouvrir les joints intérieurs *(fig. 19^{a})*. Plusieurs mises ainsi disposées sont liées avec du fil de fer pour former un paquet ou trousse. Chaque trousse présente des mises qui débordent entre elles à la suite pour former une certaine longueur. Chauffée à la température soudante, l'ébauche du tuyau est passée au laminoir soudeur à mandrin central.

Le tuyau passe dans plusieurs cannelures et mandrins à diamètres décroissants.

Cette fabrication présentant assez de difficultés, on l'a simplifiée en adoptant des trousses formées de deux ou trois tubes introduits à frottement dur l'un dans l'autre, à joints opposés *(fig. 19^{b})* et que l'on soude et étire ensemble de manière à ne former qu'un seul et même tube dont la solidité est comparable à celle des tubes dits sans soudure. Ces derniers étant obtenus aisément en acier doux, les procédés ci-dessus ne sont plus suivis, d'autant plus que les nombreuses surfaces à souder rendaient une bonne exécution difficultueuse.

Tuyaux à bande enroulée en hélice.

L'enroulement en hélice avec joint soudé assure une grande solidité et une grande raideur aux tuyaux constitués de cette façon.

Digitized by Google

La bande est d'abord enroulée avec une machine spéciale *(fig. 29, pl. 31)* (1), puis le tuyau passe dans un four et est soudé à la machine.

L'enrouleuse comporte deux rouleaux d'alimentation continue *(fig. 26)* profilant les bords de la bande métallique, soit comme *figures 20, 21* ou *22*.

La bande est guidée par une chaîne disposée *(fig. 25* et *27)* pour présenter la bande au mandrin rouleur I animé d'un mouvement de rotation continu au moyen de poulies et courroies *(fig. 29)*, le reliant à l'arbre principal de commande. Ce mandrin I a son support dans un collier pouvant être réglé en hauteur voulue, ce qui permet l'usage de mandrins de différents diamètres, suivant les diamètres des tuyaux et de manière que la partie supérieure du mandrin puisse toujours occuper la position convenable par rapport aux organes guideurs.

Le mandrin I est muni d'un guide en hélice M, pour donner la direction voulue à la bande, après qu'elle est sortie des rouleaux d'alimentation.

Le mandrin est encore pourvu d'une bande de métal ou tige plate N *(fig. 30)*, qui s'enroule autour en hélice pour serrer la pièce sur le mandrin et l'enrouler autour.

La tige N est parfois une bande plane *(fig. 25)* ou une chaîne, ou encore une série de rouleaux de friction *(fig. 24)*.

Quand on emploie une bande mobile, sans rouleaux, on la relie à l'arbre principal W ; elle sert, non seulement de guide, mais, en embrassant étroitement le tuyau, elle aide à son avancement dans la machine.

L'extrémité extérieure du mandrin est portée par un rouleau O, monté sur un arbre P tournant par le frottement de la bande contre O.

L'une des extrémités de l'arbre P repose sur le support mobile R, déplaçable verticalement et horizontalement suivant

(1) Brevet Root, 18 novembre 1876.

Digitized by Google

la longueur du mandrin, de manière que le rouleau O se trouve toujours en dessous du joint lorsque le diamètre du tuyau varie, ce qui permet au rouleau de travailler comme outil finisseur pour fermer le joint complètement.

Après que les deux bords de la bande ont été rapprochés et agrafés, le joint est amené à la partie inférieure par un rouleau S à faire les joints, qui est placé à l'arrière du châssis à rouleau et directement au-dessus du mandrin *(fig. 29)*; et pour faciliter la fermeture du joint, quand on emploie une feuille épaisse et quand on fait un joint à agrafe, on utilise un sommier *m* et un sabot à coulisse *n (fig. 23)*.

Lorsqu'on opère avec une bande *(fig. 22)*, cette disposition est supprimée.

Le rouleau S et celui O finisseur opèrent en accrochant la bande du tuyau contre le mandrin I pour faire passer la pièce dans toute la machine; dans ce but, le mouvement de surface de ces rouleaux et de celle du mandrin est plus rapide que celui des rouleaux d'alimentation, sans quoi la bande serait poussée trop rapidement, il se formerait des plis et le métal se gaufrerait.

Les organes de commande permettent de régler les vitesses pendant la marche, soit pour atténuer une trop forte pression des rouleaux formant le joint, soit pour modifier la vitesse d'alimentation.

Machine à souder les tuyaux.

A la sortie de la machine à enrouler, le tuyau est livré à la machine à souder.

Il passe dans un four quand il sort du mandrin enrouleur, puis il est présenté aux outils soudeurs.

Le four F *(fig. 31* et *32)* est placé tout près de l'extrémité du mandrin I, de telle façon que le tuyau passe directement de ce mandrin dans le four, d'une manière continue. La vitesse d'avancement et le chauffage sont réglés de façon que le tuyau

Digitized by Google

soit porté à la chaleur soudante avant sa sortie du four chauffé au gaz.

A l'extérieur du four se trouve le mécanisme soudeur qui consiste en un mandrin F servant de support intérieur, en un marteau G et une enclume H *(fig. 33)*. Au lieu du marteau et de l'enclume, on emploie aussi deux marteaux agissant sur la surface extérieure du tuyau et dans des directions opposées ; ou encore la soudure est faite par deux galets soudeurs I, K *(fig. 35)*.

Il y a avantage à employer les galets quand le joint achevé doit donner des surfaces unies.

Parfois on combine l'action du marteau et celle des rouleaux I, K. Ceux-ci soudent le joint, et les marteaux aplatissent ensuite la surface.

Quand on emploie une enclume, celle-ci doit être creuse et maintenue froide au moyen d'un fort courant d'eau.

Le mécanisme moteur du marteau doit permettre de régler les coups avec plus ou moins de force, et plus ou moins répétés, suivant les exigences de l'opération (en moyenne, le marteau de faible poids bat 160 coups par minute).

Le mandrin soudeur F est aussi refroidi par une circulation d'eau à l'intérieur, le liquide arrivant par le tuyau *a* et sortant par la tubulure *b*.

Le mandrin soudeur F est supporté par une tige qui s'étend dans l'axe du mandrin enrouleur de manière qu'il possède un mouvement de rotation identique à celui du mandrin enrouleur ; ou bien le mandrin soudeur reçoit une rotation en sens contraire donnant lieu à des frottements polissant la surface intérieure du tube.

Pour conduire le tube achevé hors du mécanisme soudeur, on emploie des galets de friction en nombre convenable.

Ces tuyaux sont encore soudés en chauffant les pinces au moyen de chalumeaux à hydrogène ou par un courant électrique.

On fabrique des tuyaux depuis $0^{m},10$ de diamètre. Les bandes



Digitized by Google

ont une largeur de $0^m,30$ à $0^m,45$; une longueur de 20 à 30^m ou plus permettant de confectionner des tuyaux de longueur à volonté jusqu'à 30^m et plus. L'épaisseur varie suivant le besoin.

Les tuyaux formés d'une bande enroulée en hélice sont encore obtenus mécaniquement par les machines *(fig. 1 à 10, pl. 32)* (1).

Une bande de fer *(fig. 7)* chauffée à blanc soudant entre dans un cône creux pourvu à l'intérieur d'une rainure hélico-spirale *(fig. 1 à 4)*; le pas de cette rainure est très rapide au commencement, très faible à la sortie.

La bande métallique est forcée de suivre la rainure par entraînement d'un mandrin C ajusté à l'intérieur du cône creux, et qui est aussi muni d'un filet de vis de même inclinaison ou de même pas que la rainure du côté creux *(fig. 5 et 6)*. De distance en distance, des rouleaux-guides pressent et poussent la bande sur le mandrin pour faciliter le déplacement.

Le mandrin se termine par une partie cylindrique correspondant au diamètre du tuyau à fabriquer. Sur la partie extérieure F agit un laminoir ordinaire ou oblique à galets GG, par lequel la soudure est complétée.

La vitesse du laminoir oblique doit être telle que l'avance linéaire du tuyau formé soit exactement égale à celle que donnerait le laminoir s'il opérait à lui seul; en aucun cas, elle ne doit être plus grande que la vitesse avec laquelle la barre est poussée en avant par la rotation du mandrin; la vitesse d'avance due au laminoir oblique peut, au contraire, être un peu plus petite.

En chauffant les bandes en rouleau, on peut obtenir des longueurs de tuyaux très grandes.

La partie antérieure du mandrin, vers la pointe, qui est exposée à une grande usure, est faite en acier dur. Elle peut être changée par d'autres, selon le diamètre des tuyaux.

---

(1) Machines Wustenhöfer. Brevets des 22 juillet 1889 et 9 septembre 1889.

Digitized by Google

Le laminoir d'about ordinaire *(fig. 9 et 10)* est employé quand on fait des tuyaux demi-finis sans soudure complète, qui sont ensuite réchauffés et soudés définitivement par le procédé ordinaire.

Afin de faciliter l'engagement de la bande, il est bon de disposer sur l'avant du mandrin creux et sur le mandrin plein prolongé une rainure et des galets guideurs.

Les *figures 7* et *8* indiquent la section de la bande qu'il convient d'adopter et la disposition de l'enroulement avec recouvrement pour assurer une bonne soudure du joint d'assemblage.

Tuyaux soudés par frottement.

Le procédé de soudure par frottement a été appliqué à la fabrication des tuyaux (1) formés de bandes métalliques enroulées en hélice autour d'un mandrin intérieur, que l'on monte sur les pointes d'une machine à souder produisant une rotation a grande vitesse.

Un manchon emboîte le tuyau sur une partie de sa longueur et exerce une pression suffisante pour porter, par frottement, le métal à la température d'amollissement et souder les parties à recouvrement.

En déplaçant le manchon de proche en proche, le tuyau est soudé sur toute sa longueur. L'application industrielle de ce procédé paraît assez aléatoire.

Tuyaux à bandes multiples à recouvrement.

Les tuyaux à bande enroulée suivant des hélices sont encore constitués par plusieurs bandes enroulées et superposées. L'enroulement se fait dans le même sens ou en sens contraire de manière que les jonctions soient recouvertes par les bandes formant couvre-joints. Ce procédé n'est guère répandu, les surfaces à souder ont un trop grand développement.

(1) Procédé Bevington. (*Der praktische Maschinen*, construct^r, 14 avril 1892).

Machine électrique à souder les tuyaux (1).

La machine à souder les tuyaux *(fig. 11, 12 et 13)* comprend deux supports BB' à coussinets correspondant au diamètre de la pièce. Ces supports sont isolés en *b* et se rattachent respectivement aux accumulateurs DD' par les fils *dd'*.

Le support B peut se déplacer longitudinalement à l'axe du tuyau T en actionnant le levier E *(fig. 12)*.

Sur un support F est montée la poulie G recevant une courroie. Dans le moyeu de la poulie sont disposés deux marteaux ou étampes I, montés sur des blocs J *(fig. 11 à 13)*.

Au lieu de marteaux-étampes, on peut aussi faire usage de galets compresseurs *(fig. 14)*.

Les marteaux agissent alternativement au moyen de la roue à came K qui est fixée sur le support F. Les cames K agissent sur des boutons L solidaires des marteaux dont les blocs J sont sollicités par des ressorts N fixés à la jante de la poulie G.

Un mandrin P *(fig. 13)* est placé à l'intérieur du tuyau T pour soutenir le métal.

Les deux parties à souder étant juxtaposées, on fait passer le courant électrique portant le métal à la température soudante. La poulie tournant, les marteaux frappent ou les rouleaux compriment le métal sur tout le pourtour en même temps que le levier E agit pour maintenir le contact.

En déplaçant le tuyau longitudinalement ou angulairement, on peut souder les tuyaux suivant la génératrice, ou circulairement, ou suivant une hélice d'enroulement.

Chauffage par un courant électrique.

Le chauffage des tuyaux par l'arc voltaïque au moyen d'un crayon de charbon (procédé Bernados) est appliqué dans les

(1) Machine Fowler. Brevet du 10 décembre 1889.

Digitized by Google

ateliers Lloyd et Lloyd, en remplacement du chalumeau à gaz. Il existe une installation complète comprenant un moteur de 80 poncelets actionnant trois machines dynamos qui fournissent respectivement 150, 200 et 300 ampères sous 150 volts.

Elles sont couplées en quantité et chargent en séries parallèles une batterie d'accumulateurs type Planté.

Pour les travaux courants d'épaisseur convenable, le porte-charbon est manœuvré à la main. Mais pour les tuyaux de faible épaisseur, il a fallu construire un outillage spécial agissant mécaniquement.

Après une expérience de deux années, il a été reconnu que le coût du chauffage électrique au moyen de l'arc peut être inférieur des trois quarts à celui que comporte le procédé du chalumeau à gaz.

Depuis la substitution d'un système à l'autre, on a pu opérer sur des tubes, des coudes d'un diamètre double et d'une épaisseur plus forte.

Ce procédé a ainsi reçu la sanction d'une application industrielle; nul doute qu'il se répandra à mesure que l'on en appréciera l'utilité et qu'on aura l'énergie électrique à sa disposition à un prix de revient moins élevé qu'actuellement.

Tubes côtelés ou à ailerons.

Les tubes à ailerons employés pour chaudières, condenseurs, appareils de chauffage, arbres de transmission, etc., présentent des conditions particulières de fabrication.

Leur inventeur, M. Nézeraux, adoptait des côtes ou ailes intérieures *(fig. 15* et *16)* (1); puis, suivant les applications, ces

(1) Le tube côtelé, désigné à tort sous le nom de tube Serve, a été inventé dès 1877 par M. Nézeraux (Ang. 1850), qui indiquait nettement l'utilité très rationnelle de munir d'ailettes intérieures les tubes de chaudières pour augmenter dans une grande mesure la surface de contact des gaz chauds, tandis que la surface de contact avec l'eau était suffisante en restant cylindrique. M. Nézeraux signalait également l'application des ailerons aux tubes bouilleurs des chaudières. (Brevet du 8 février 1877.)

Digitized by Google

tubes furent fabriqués avec ailes extérieures *(fig. 17)* ou avec ailes intérieures et ailes extérieures *(fig. 18)*.

L'étirage prononcé des ailes exige un métal ductile : fer d'excellente qualité, acier doux, cuivre, laiton, plomb.

Pour les tubes soudés, le flan *(fig. 19)* est obtenu par laminage ou par matriçage d'un lingot ayant une épaisseur au moins égale à l'épaisseur de la planche achevée, y compris la hauteur des ailerons. A l'endroit des ailerons, on ménage des saillies opposées pour fournir du métal à l'étirage en quantité suffisante, afin de ne pas mettre à contribution le métal du corps de la plaque situé entre les ailerons, ce qui déterminerait des entraînements donnant lieu à des déchirures. Le laminage amène la section *figure 20*.

La transformation en tube se fait, comme pour un tube ordinaire, par un passage dans un mandrin rouleur.

Le joint à recouvrement est soudé exceptionnellement par martelage, ordinairement par laminage; si le tuyau est en cuivre on le brase.

Dans le cas de soudage au marteau, le tube emboîte un mandrin intérieur et il est emboîté partiellement par un mandrin extérieur *(fig. 21)*.

Pour le soudage au laminoir des tubes à ailerons intérieurs, le mandrin affecte ordinairement les formes *figure 22* et *23*, qui présentent divers inconvénients. Quand l'ébauche est livrée au laminoir *(fig. 25, 26* et *27)* placé près de la porte du four à réchauffer, elle est entraînée par les cylindres. La force qui produit cet entraînement est le frottement que déterminent les cylindres en contact sur la surface extérieure du tube. Mais le frottement de la surface intérieure sur le mandrin donne lieu à une résistance qui peut devenir supérieure à la force d'entraînement et alors le tube n'est plus entraîné, l'opération est manquée. Cela arrive particulièrement lorsque les ailettes, au lieu de s'engager exactement dans les rainures du mandrin, viennent se placer sur la partie pleine de ce mandrin.

Digitized by Google

Avec les mandrins *(fig. 28, 29* et *30)* (1), la réussite est mieux assurée. Les rainures ont dans toute leur étendue une profondeur au moins égale à la hauteur des ailerons. Le tube ne peut entrer que s'il se présente convenablement; les ailerons ne peuvent pas s'engager sur les pleins; le laminoir ne saurait entraîner le tube au risque de faire disparaître par aplatissement tous les ailerons.

Si le tube est mal présenté, il ne s'engage pas entre les cylindres, il n'est pas abîmé, il suffit de le rentrer au four.

Les mandrins des tubes à ailerons s'usent très rapidement; le passage de quelques tubes suffit pour les mettre hors de service, ce qui grève le prix de revient.

On a essayé de faire ces mandrins en divers aciers; la fonte blanche à fusions répétées est celle qui résiste le mieux.

Les tubes à ailerons donnent lieu à un grand déchet pouvant s'élever de 20 à 30 0/0.

Dans le cas d'ailes extérieures, il convient d'employer un laminoir à rouleaux multiples; chaque rouleau emboîte une ailette, les deux adjacentes restant libres, ce qui conduit à un nombre de cylindres moitié du nombre des ailettes.

Si le tube ne comporte qu'une seule nervure *(fig. 31)* (cas des tubes contenant le liquide à vaporiser) et s'il est soudé, la bande est laminée avec la nervure comme un fer à T ordinaire à ailes très larges que l'on enroule et que l'on soude comme dans les cas précédents.

Lorsque le tube *(fig. 32)* doit recevoir une paroi diamétrale, mobile pour faciliter le nettoyage, les ailettes qui embrassent la paroi sont plus resserrées et sont calibrées au mandrin-filière, les autres ne l'étant pas.

Pour les tubes à ailes hélicoïdales, la torsion finale est donnée par un mandrin finisseur à rainures hélicoïdales.

---

(1) Brevet du 18 février 1892, Société d'Escaut et Meuse.

Digitized by Google

Tuyaux sans soudure.

Les tuyaux sans soudure sont obtenus par étirage de manchons, de flans emboutis, ou par laminage direct, par compression et écoulement d'une masse métallique, liquide ou solide, à travers un mandrin et souvent par la combinaison de ces procédés.

Dans le cas d'étirage, l'ébauche est coulée ou obtenue par forgeage ; elle est étirée au mandrin-filière ou au laminoir.

C'est le procédé le plus simple, autrefois appliqué aux tuyaux de plomb, aujourd'hui appliqué aux tuyaux de laiton, cuivre, fer, acier, etc.

On coulait dans un moule de cuivre, en deux parties, un manchon de plomb d'environ 1^m de longueur dont le noyau etait une tige de fer que l'on dégageait en faisant passer le tuyau entre les cylindres qui en opéraient le décollement. Le tuyau passait ensuite dans les mandrins-filières d'un banc à étirer pour être réduit au diamètre voulu.

Ces tuyaux présentant des différences d'épaisseur, des irrégularités souvent prononcées à cause de la difficulté de bien régler les opérations successives, on fut conduit à adopter l'étirage sur mandrin intérieur. Citons que (1) :

« Le célèbre maître de forges John Wilkinson, de Brosely, a été breveté en 1790 pour une méthode qui consiste à couler une pièce de plomb circulaire, d'environ dix-huit pouces de long, perforée longitudinalement par le milieu. Cette pièce a un diamètre beaucoup plus grand que celui qu'on doit donner au tuyau. Le trou diminue brusquement vers une des extrémités, de manière à former, sur la surface intérieure, un coude contre lequel repose un mandrin de fer poli qui a été passé jusqu'à ce point dans le cylindre. Ce cylindre est un peu plus long que ne doit l'être le tuyau, lequel est en général de sept à neuf pieds. On fait passer une vis en fer, ayant un œil à

(1) Extrait du *Mécanicien anglais*, 1825.

son extrémité opposée, jusqu'à l'autre extrémité du noyau, et on la visse dans la partie du mandrin qui repose contre le coude. En cet état, le mandrin, avec le cylindre de plomb fixé sur lui, est présenté à la filière. La table du banc à tirer a trente pieds de long sur deux de large, et porte à une de ses extrémités un fort cylindre avec une chaîne. Ce cylindre est tiré par une machine à vapeur ou autre moteur.

» La filière est à trous coniques ; on fait passer le tenon qui est vissé au bout du mandrin et attaché à un crochet fixé à l'extrémité de la chaîne qui tient au cylindre. La pièce de plomb est forcée de passer à travers le trou dans la plaque d'acier, ce qui diminue son diamètre et augmente sa longueur.

» On répète cette opération en faisant passer le tuyau de plomb à travers tous les trous de dimension décroissante, jusqu'à ce qu'il soit réduit au diamètre demandé.

» Le cylindre est arrêté et le mandrin dégagé de la chaîne, qui est de suite rattachée à l'autre bout. La plaque d'acier étant enlevée, les chevilles contre lesquelles elle s'appuyait laissent passer le mandrin entre elles, mais retiennent le tuyau de plomb, ce qui permet au mandrin d'en être dégagé, en conséquence du mouvement du cylindre, que l'on remet en train.

» Une petite partie du tuyau est coupée à chaque bout, et il est alors terminé.

» Pendant l'opération, l'on a grand soin de maintenir la plaque d'acier et le mandrin bien huilés.

» Depuis l'expiration de la patente accordée à Wilkinson, ce procédé a été pratiqué avec succès par plusieurs autres usines à plomb. »

L'étirage sur mandrin intérieur donne des tuyaux bien conditionnés, lisses à l'intérieur comme à l'extérieur, et d'épaisseur uniforme.

Les tubes en laiton et ceux en bronze ductile sont ordinairement obtenus par le procédé précité. Les ébauches sont coulées verticalement et ont une longueur de $1^m,50$ à 2^m.

Digitized by Google

Lorsque le manchon se rapporte à un tube à ailettes, l'ébauche est coulée de façon que l'étirage au mandrin détermine des réductions de section s'éloignant peu de l'égalité de réduction dans toutes les parties de la section, et cela afin qu'il n'y ait pas d'étirage trop prononcé par entraînement qui déterminerait des déchirures.

Pour les tuyaux en cuivre, fer fondu ou acier doux, on préfère partir d'un flan circulaire que l'on emboutit en forme de tube fermé par un bout et que l'on étire pour réduire le diamètre et l'épaisseur en augmentant la longueur.

Considérons le cas d'un tube de cuivre : le lingot de dimensions $0^m,60 \times 0^m,40 \times 0^m,14$ *(fig. 33)* enlevé de la lingotière aussitôt sa solidification, passe au laminoir à tôle qui le réduit en huit ou dix passages à une épaisseur de 26^{mm}, une largeur d'environ $0^m,50$, une longueur de $1^m,90$. A la fin du laminage, la plaque *(fig. 34)* (rouge sombre) passe à la poinçonneuse qui défonce successivement quatre flancs circulaires de $0^m,400$ de diamètre (1).

Ces flans sont réchauffés dans des fours ; chacun d'eux subit trois ou quatre emboutissages et étirages à chaud à la presse hydraulique (du type vertical *figure 37*, force 50 à 1000^t ou plus) ; chaque opération se fait sur réchauffage ; la pièce passe par les transformations *figures 38* à *41* et présente, par exemple, une longueur d'environ $1^m,20$; un diamètre de $0^m,140$, une épaisseur de 6^{mm}.

L'about est percé pour y passer le mandrin intérieur. Ensuite,

---

(1) Le poinçon et la matrice *(fig. 35* et *36)* d'une défonceuse pour ces flans sont en fonte dure. La face de travail du poinçon est plane. La face supérieure de la matrice est à double plan incliné, de manière que le découpage se produise successivement, peu à peu, à la façon d'une cisaille oblique. Il faut ainsi une moins grande puissance motrice d'action. Le découpage est bien net, on laisse peu d'excès de métal dans la tôle à découper. Dans le poinçon et la matrice, il se produit, sur une épaisseur de quelques millimètres, des fissures nombreuses, distribuées à égale distance sur toute une zone de pourtour de la surface de contact avec la tôle. Ces fissures sont dues à des effets de dilatation. Ces pièces résistent cependant à un usage prolongé.

Digitized by Google

l'étirage se fait à froid sur recuit avec des mandrins-filières et sur mandrin central *(fig. 42* et *43)*.

Le diamètre intérieur est réduit à volonté en même temps que le diamètre extérieur, en adoptant un mandrin central de diamètre décroissant.

Lorsque le diamètre intérieur est à dimension, le mandrin central n'est plus changé, et l'étirage continue, s'il y a lieu, extérieurement pour réduire l'épaisseur.

Finalement, l'extrémité, débouchée en partie, est affranchie à la scie, et un dernier étirage sur mandrin calibre le tuyau. Dans ce dernier étirage, le tuyau se colle sur le mandrin de grande longueur, et l'adhérence est telle, parfois, que pour retirer le mandrin central en faisant buter l'about du tuyau contre le bloc de filière, le tuyau se comprime, se plisse contre la butée; on est obligé de le décoller en frappant avec un maillet. Cette adhérence est due, en partie à la pression, en partie à la contraction du métal qui s'échauffe pendant le travail. On conçoit que plus la longueur du tuyau est grande, plus l'effort total d'adhérence est élevé et qu'il y a une limite pratique qu'il convient de ne pas dépasser afin que le travail se fasse aisément. Ce mode de fabrication s'applique à des tuyaux de tout diamètre, de longueur de 3 à 4^{m} ou plus. On opère avec des flans jusqu'à $1^{m},20$ de diamètre et 80^{mm} d'épaisseur.

Pour les tuyaux de diamètre supérieur à $0^{m},180$, le calibre est rapporté sur une tige et présente la forme *figure 42*, sa longueur est d'environ $0^{m},10$ à $0^{m},15$.

L'étirage des petits et moyens tuyaux se fait sur de forts bancs à tirer analogues à ceux *figures 44* et *45*, qui comportent deux chaînes permettant d'opérer sur deux tuyaux à la fois.

Les gros diamètres s'étirent sur un banc à traction hydraulique (1) pouvant développer un effort de 250^{t} sur des tuyaux de $0^{m},400$ de diamètre et jusqu'à 6^{m} de longueur.

(1) Ces bancs hydrauliques sont disposés comme l'indiquent les *figures 39* et *40* de la *planche 35*.

Digitized by Google

Robertson a établi plusieurs dispositions nouvelles du banc hydraulique dont nous signalons les suivantes : Dans les *figures 46* et *47*, le tube supposé en cuivre est monté sur un mandrin central D en acier. Le cylindre est en fonte; le mandrin matrice est ajusté à l'aide d'une rondelle de cuir pour assurer l'étanchéité du joint; il est maintenu par la bride E fixée sur le cylindre par des boulons. Le fond du cylindre présente une ouverture pour le passage de la pièce. Un bouchon F muni d'une rondelle de cuir ferme cet orifice. Le liquide sous pression réglée par un accumulateur arrive par la tubulure G; un robinet permet de varier le débit et par suite la vitesse d'étirage. Une deuxième tubulure H avec robinet est en communication avec un réservoir d'eau à basse pression pour faire le plein dans le cylindre avant de faire agir le liquide propulseur.

Les pieds du banc prennent appui sur une semelle en forme d'auge recueillant les pertes de liquide et la vidange après l'opération. Le liquide s'écoule alors par la tubulure K pour être repris à volonté. Les pieds du banc sont disposés pour facilement rechanger le cylindre étireur dont le diamètre varie dans des limites prévues.

Une opération peut, par exemple, comporter une matrice de 82^{mm} de diamètre de passage, montée sur un cylindre de 115^{mm} de diamètre.

Le mandrin D a 76^{mm}; le flan du tube est amorcé à l'extrémité extérieure et serre fortement le mandrin D à cet endroit, tandis qu'ailleurs le jeu entre le flan et le mandrin permet à l'eau et à la matière lubrifiante de pénétrer. Le flan a un diamètre extérieur d'environ 89^{mm}, ce qui correspond, après l'étirage à 82^{mm}, à donner une longueur double au tuyau.

La surface d'action du liquide est d'environ 52^{cm^2}. En admettant une pression de 780^{kg} par centimètre carré, la pression totale de poussée sera d'environ 40.000^{kg}, ce qui suffit pour

Digitized by Google

obtenir une vitesse d'étirage assez rapide. Le flan emboîtant le mandrin D est enlevé par les moyens ordinaires.

Lorsque le tube est étiré sans mandrin longitudinal sur toute la l ngueur, la partie du tube du côté de la matrice est dirigée par un mandrin court. L'extrémité antérieure du tube est munie d'un bouchon fileté. Pour permettre au liquide propulseur de pénétrer jusqu'à l'extrémité antérieure du flan et jusqu'au bouchon, le mandrin court est percé d'outre en outre d'un petit trou central.

Une disposition plus commode consiste à employer, quand il est possible, une pression assez forte pour produire le déplacement du métal à travers la matrice, le tube restant ouvert aux deux bouts. Par exemple, avec un tube soudé à recouvrement de 80^{mm} de diamètre extérieur, de 70^{mm} de diamètre intérieur, la surface de la section est $13^{cm^2},36$. En employant une pression de 2.500^{kg} par centimètre carré, la poussée sur le tube est d'environ 33.000^{kg}, suffisante pour l'étirage finisseur d'un tel tube. Dans ce cas, un mandrin D fixe et butant contre un appui extérieur E, est emboîté par l'extrémité antérieure du tube *(fig. 48)*. Ce mandrin présente une portée sur laquelle se calibre le diamètre intérieur du tube et la pression due à l'étirage assure l'étanchéité.

Pour réduire le frottement du tube sur le mandrin D, dans le sens longitudinal ce dernier peut être animé d'un mouvement de rotation ainsi qu'il a été indiqué à l'étirage des arbres. Ou encore, dans le cylindre on place un piston court P qui sert de pousseur en s'appuyant sur le bout postérieur du tube. Il suffit alors d'une pression beaucoup moins élevée par unité de surface.

Avec les bancs ordinaires, dans toutes les opérations à froid, les parties frottantes sont lubrifiées avec un mélange d'eau et d'huile de lin.

L'étirage détermine l'échauffement du mandrin et du tuyau à une température de 60 à 100 degrés et plus.

Pour les tubes en aluminium, la température la plus favo-

Digitized by Google

rable, d'après Robertson, est de 82 degrés. Avec le banc hydraulique à action directe, il est possible de chauffer le liquide à environ ce degré, le supplément étant donné par le travail d'étirage.

La vitesse varie avec le diamètre, la nature du métal, l'allongement produit. Pour les gros tuyaux en cuivre ou en laiton de diamètres au-dessus de $0^{m},150$, la vitesse est de 20 à 30^{mm}. Pour les diamètres inférieurs, elle varie de 30 à 50^{mm}.

Dans l'étirage à froid, la réduction d'épaisseur par passage varie de $0^{mm},5$ à 3^{mm} suivant que l'épaisseur et le diamètre du tuyau sont petits ou grands.

La difficulté de fabrication est d'autant plus grande que les tuyaux sont plus gros et l'épaisseur plus faible; l'effort de traction se répartissant moins uniformément, il se produit des déchirures.

Les tuyaux en fer fondu ou acier doux s'exécutent de la même manière jusqu'à 600^{mm} de diamètre; ils exigent des bancs à tirer puissants et de nombreux réchauffages et recuits pour l'étirage à froid. La marine exige un travail parfait, le métal doit être à même de subir des épreuves de haute pression.

Lorsqu'il s'agit de tuyaux pour usages divers, l'étirage est quelquefois poussé très loin sans recuits assez répétés. L'acier perd alors une grande partie de sa ductilité dans le sens circulaire. C'est ainsi que des tubes se fêlent longitudinalement lors d'une chute sur le sol. Parfois la fragilité est presque comparable à celle du verre, et cependant, dans le sens longitudinal, la ductilité est telle que le métal peut supporter de nombreuses flexions alternatives avant de se criquer (1).

L'extrémité fermée peut ne pas être débouchée ainsi que

(1) Ayant eu l'occasion de constater ces effets plus ou moins prononcés, nous préconisons le moyen simple suivant de vérifier la ductilité de tels tuyaux : c'est de serrer le bout dans un étau. Si la ductilité est absente, des fentes longitudinales se produisent sur une certaine longueur, avec un bruit sec. Cette épreuve d'écrasement est l'une des plus simples et des plus concluantes à divers titres pour tous tuyaux.

Digitized by Google

l'indiquent les *figures 49* à *53* et *54* à *57*, et lorsque l'étirage se poursuit fortement, on ménage suffisamment de métal pour former une queue d'attache de la pince *(fig. 57* ou *58)*.

Les tuyaux dont une extrémité est fermée et renforcée, tels que les tubes Field, en acier doux, s'obtiennent soit par soudage en étampes de l'about en ménageant un crochet pour l'étirage au banc *(fig. 59)*, soit par l'emboutissage d'un flanc, puis par étirage avec mandrin central pousseur s'appuyant sur le bout du tuyau et le forçant à passer à travers le mandrin-filière. Le tuyau est enlevé de dessus le mandrin par retour de ce dernier, le tuyau butant sur une bague d'appui rapportée sur le porte-filière.

Ce procédé est suivi dans les *tuberies* ou usines à tubes; mais, dans les chaudronneries où on confectionne exceptionnellement ces tubes, on emploie des tubes ordinaires que l'on transforme par étampage suivant les *figures 60*, tout en soudant les parties qui se rejoignent et en ménageant suffisamment de métal aux abouts, de manière qu'après avoir séparé les deux parties formant chacune un tube, l'excès de métal permette de donner une dernière chaude suante assurant une bonne soudure et une épaisseur suffisante.

La dernière opération se fait sur mandrin intérieur et à la chasse sphérique *(fig. 61)*. On a soin d'emboîter l'extrémité du tube d'une bague maintenant le métal.

La difficulté de retirer le mandrin intérieur d'un tuyau étiré augmente avec la longueur du mandrin et la plus faible épaisseur de la paroi. L'enlèvement ne peut se faire qu'après battage au maillet, ce qui détermine des irrégularités, des déformations que l'on évite en employant un mandrin percé *(fig. 62)* (1) permettant d'introduire un fluide sous pression qui s'infiltre entre le mandrin et la paroi, en dégageant celle-ci de manière à supprimer l'adhérence en grande partie, ce qui réduit le frot-

(1) Brevet Lorenz du 1er septembre 1888.

Digitized by Google

tement, et le mandrin se retire alors sans grand effort. On reconnaît que le fluide a produit son action lorsqu'il s'échappe sur la plus grande partie du pourtour ou ouverture du tuyau.

On pourrait aussi employer avantageusement des mandrins quelque peu extensibles, analogues à celui employé pour le laminage des viroles et que nous signalerons plus loin ; ou encore, on peut rouler le tube ou le laminer quelque peu entre des rouleaux qui le renflent et permettent d'enlever le mandrin. Pour les petits diamètres étirés sur âme en laiton, on fait une traction en saisissant les extrémités du mandrin qui se réduit en diamètre, ce qui décolle le tube ; on coule un peu de soudure à l'un des bouts de manière à former joint ; on introduit alors de l'eau sous pression par l'autre bout pour chasser le tube. Comme un tube de laiton mouillé ne saurait s'étirer sans chance de rupture, il faut recuire à chaque passage et sécher la pièce.

Étirage des manchons.

Les ébauches de tubes coulées en cuivre ou en laiton, sous forme de manchons s'étirent, à travers des mandrins-filières, se dégrossissent jusqu'à une certaine limite en disposant la pièce M et la tige ou mandrin intérieur A, comme l'indiquent les *figures 63* et *64*.

Le manchon subit ainsi une pression longitudinale.

Si on opère par petites passes, par faibles réductions, la disposition *(fig. 63)* peut convenir ; l'effort qui exerce une compression sur le manchon M quand il passe à travers le mandrin A, n'étant pas élevé, le manchon ne se renfle pas et le métal peut glisser sur le congé de raccord ou d'entrée du mandrin présentant la section *figure 65*.

Mais, quand on produit de fortes réductions, et c'est le travail le plus avantageux, il faut entourer le manchon A *(fig. 64)* d'une enveloppe C maintenant le métal contre toute flexion latérale ou gonflement. Il faut, de plus, employer des mandrins

Digitized by Google

à ouverture conique *(fig. 66* et *67)*, qui permet au métal de suivre la pente du cône. Pour obtenir un étirage convenable il convient de donner à la partie cylindrique du mandrin une hauteur de 5^{mm} au moins.

Les tubes dégrossis sont achevés par étirage ordinaire, la pièce étant soumise à une traction.

Au lieu d'un mandrin intérieur cylindrique, ou d'un tampon-mandrin à tige, on peut employer un mandrin court libre *(fig. 68)*.

La partie d'avant du tampon T a le diamètre que doit avoir le tube à l'intérieur après l'étirage, tandis que la partie arrière dudit tampon a un diamètre plus grand, de préférence un diamètre au moins égal ou plus grand que le plus petit diamètre du mandrin-filière; c'est-à-dire un diamètre égal au diamètre extérieur du tube après l'étirage.

On réduit l'extrémité d'avant du tube à étirer de la manière ordinaire pour qu'elle passe à travers le trou d'étirage; on introduit alors le mandrin-tampon, son plus petit bout en avant, jusqu'à la filière, on étire le tube au banc.

Par suite du mouvement du tube, le tampon se place de lui-même à l'orifice de la filière et le métal est étiré entre la matrice et le tampon, la réduction se faisant à l'extérieur et à l'intérieur de la paroi. Le tampon est en acier durci; il présente, de préférence, les formes *figures 68* et *73*. Dans certains cas, il est bon d'agrandir le tube qui subit l'opération avant de le réduire.

On adopte la disposition *figure 69*. Le tampon est un cylindre à bouts coniques; pour l'introduire dans le tube, on fend longitudinalement l'extrémité d'avant du tube *(fig. 70* et *71)*; on introduit le tampon, on resserre l'extrémité pour le passage à travers la filière; on insère alors la barre de traction E que l'on assujettit au moyen de l'anneau O, engagé jusqu'à la tête E' de la barre E.

Lorsque le tube *(fig. 69)* est tiré à travers la matrice, la partie

Digitized by Google

dans laquelle le tampon est situé augmente de diamètre, avant d'être réduite au diamètre et à l'épaisseur d'étirage prévus.

Par cette méthode, on peut produire un tube ayant sur toute sa longueur le même diamètre extérieur, mais présentant aux extrémités un diamètre plus grand ou plus petit suivant que l'étirage est effectué sur un tampon de forme correspondante.

Avec un mandrin-tampon extensible ou en plusieurs parties démontables permettant le démontage, on peut produire des tube de la forme *figure 72.*

L'étirage des tubes en bronze d'aluminium présente de grandes difficultés; les filières s'usent rapidement; il faut de nombreux recuits. Au lieu de partir d'un manchon, on transforme au laminoir hélicoïdal un lingot en tube sans soudure, que l'on étire ensuite à froid, car à chaud la résistance et la ductilité sont trop faibles. La plupart des alliages du cuivre étant très fragiles à la température du rouge à laquelle on porte les tubes pour les recuire, il importe de les manœuvrer avec grandes précautions, sinon le moindre choc, la plus petite chute en les déposant sur les tables ou sur le sol, détermine leur rupture en plusieurs parties.

Tuyaux cannelés.

Les tuyaux cannelés *(fig. 74* et *75)* sont d'abord confectionnés avec des surfaces lisses, les cannelures étant ensuite formées par un ou plusieurs passages dans une filière *(fig. 76)* (1) dont les parties formant l'outil sont à empreintes qui correspondent aux cannelures à produire.

Lorsqu'on opère en plusieurs passes, le mandrin est à pièces mobiles se rapprochant ou s'éloignant simultanément de l'axe du tuyau par le déplacement rotatif du porte-mandrin M au moyen du levier L.

Si les cannelures sont hélicoïdales, le tuyau est saisi par une

(1) Brevet J. Wilkes, à Birmingham, du 7 août 1885. (*Engineering*, 16 octobre 1885.)

Digitized by Google

pince mobile angulairement, de manière à suivre la rotation du tube pendant l'opération d'étirage. En montant la filière sur billes *(fig. 77)*, elle peut tourner à la manière d'un écrou lorsqu'on tire sur le tuyau qui possède le mouvement longitudinal.

Lorsque ces tubes comportent des extrémités cylindriques *(fig. 78)* pour permettre l'ajustage, l'opération consiste à introduire un mandrin court ondulé. Le tube est alors étiré entre galets *(fig. 79 et 80)* (1) qui se règlent simultanément et permettent de faire l'opération par passes répétées.

En faisant tourner le tube, ou en disposant les galets obliquement, on produit des ondulations en hélice.

Les tubes cannelés sont très employés dans divers articles de quincaillerie, d'industries spéciales. Lorsque le pas est peu allongé, les tuyaux minces sont flexibles.

Ils ont été essayés (par M. Guérin, 1860) pour tubes de chaudières en vue d'augmenter la surface de chauffe; ils ont précédé les tubes à ailerons pour cet usage.

Le procédé d'étirage à la filière permet d'obtenir les tubes ou fils creux de quelques dixièmes de millimètre de diamètre ou de quelques millimètres, couramment employés dans la bijouterie et dans la fabrication des roues de vélocipèdes (2).

Les dimensions des tubes ordinaires varient à volonté suivant la qualité du métal.

Les diamètres atteignent jusqu'à $0^{m},600$ avec des épaisseurs variables de $0^{m},001$ à $0^{m},020$.

Les tubes de gros diamètre et de faible épaisseur ne se font qu'exceptionnellement; ils sont difficiles à obtenir sans défaut,

---

(1) Brevet Mac Laren du 13 juin 1892.

(2) Ces véhicules, dont la propagation a été si rapide en ces dernières années, ont eu une certaine influence sur la production métallurgique et particulièrement sur le développement des ateliers d'étirage des tubes de petits diamètres. On estime qu'en France, par exemple, où la fabrication s'élèvé à environ 100.000 bicyclettes, les aciéries sont redevables d'un débouché annuel de plus de 2.000^{t}, chiffre qui s'accroîtra dans une forte proportion avant peu d'années.

Digitized by Google

sans déchirures. Les gros tubes de forte épaisseur sont assez rarement confectionnés par les procédés d'étirage.

Pour ces fortes dimensions on opère de préférence au laminoir, qui n'exige pas un travail mécanique aussi élevé que le banc à tirer et permet de ne faire subir à la pièce ébauchée qu'un ou deux réchauffages.

Laminage sur mandrin.

Le laminage sur mandrin métallique froid peut particulièrement être appliqué aux tubes de grand diamètre et de moyenne épaisseur. Dans ce cas, le laminage doit être rapide.

Le manchon chauffé est emmanché sur un mandrin dont le diamètre est légèrement inférieur au diamètre intérieur *(fig. 1, pl. 33)*. On passe l'ensemble au laminoir *(fig. 2)* (1) en ayant soin de ne donner que des pressions modérées.

Lorsque le métal est refroidi, on retire le manchon au moyen d'une presse et on recommence l'opération jusqu'à dimension déterminée.

On obtient ainsi un tube dont le diamètre intérieur est égal à celui du dernier mandrin adopté.

Pour des tubes de diamètre supérieur à 100^{mm}, on peut avantageusement employer un mandrin tubulaire rétractile facile à enlever.

Les cylindres du laminoir présentent une dizaine de cannelures *(fig. 3)*.

Pour dégrossir à froid les tubes sans soudure, on emploie un laminoir à galets multiples et à axes obliques dont l'une des premières dispositions conçue est celle *figures 4* à *7* (2).

Elle comprend trois galets BB^1B^2 en acier montés sur des arbres obliques.

---

(1) Brevet du 11 août 1865, Compagnie des fonderies et forges de Terrenoire, La Voulte et Bessèges.

(2) Brevet du 26 novembre 1863 à M. Brocard.

Digitized by Google

Le galet supérieur B oblique à droite *(fig. 5)* et suivant une horizontale; les deux autres B^1B^2 obliquent aussi à droite et en même temps en diagonale, celui de droite inclinant en avant, celui de gauche penchant en arrière, de manière à former entre eux une ligne hélicoïdale.

Le tube E à extrémité effilée est monté sur un mandrin D; il est introduit entre les galets qui lui impriment à la fois un mouvement hélicoïdal et réduisent l'épaisseur par la pression qu'ils exercent. Quand le tube a fait une passe, le mouvement se fait en sens inverse et ainsi de suite.

Parfois le mandrin D est commandé pour la rotation et les galets sont entraînés par l'adhérence.

Il convient de calibrer les tubes par un ou plusieurs passage à la filière-mandrin d'un banc à tirer.

Pour obtenir des tubes très lisses à l'intérieur, particulièrement pour ceux en cuivre et en laiton, on donne au mandrin M *(fig. 8)* une forme cannelée et on lui imprime un mouvement de rotation pendant l'étirage à froid ou à chaud entre les deux cylindres d'un laminoir *(fig. 9* et *10)* disposé pour remplir ces conditions (1).

Les cylindres CC′ du laminoir sont commandés par des engrenages à la manière ordinaire; ils comportent trois cannelures de différentes dimensions.

L'arbre de commande A donne aussi, par l'intermédiaire d'engrenages, le mouvement de rotation à l'arbre F solidaire de la tige B du mandrin.

Sur l'arbre E est un manchon d'embrayage et de débrayage. Pour éviter les chocs, lors de l'embrayage à la marche, on a soin de faire tourner l'arbre E, tout d'abord, au moyen de la transmission directe par courroie; puis, le manchon étant embrayé, la courroie est placée sur la poulie folle.

---

(1) Brevet Everit du 2 mars 1888.

Digitized by Google

Laminage continu.

La transformation d'un manchon ou lingot creux en tube de grande longueur exigeant de nombreux passages dans des cannelures décroissantes, on a préconisé l'emploi du laminage continu entre plusieurs paires de cylindres à axes horizontaux et à axes verticaux disposés sur une même ligne *(fig. 11)*.

Les divers mandrins de diamètre décroissant sont montés sur une même tige centrale et sont formés d'éléments facilement rechangeables à mesure que l'usure devient trop prononcée. Les gros mandrins étant rectifiés sont utilisés pour remplacer ceux de diamètre plus petit.

La réduction des diamètres du tuyau peut être assez prononcée, et suivant le nombre de paires de cylindres et les dimensions du lingot et du tube, on peut opérer en une ou deux chaudes, en un ou deux passages. Les cylindres doivent évidemment posséder des vitesses progressives, ainsi qu'il a déjà été indiqué pour ce genre de laminage, plus ou moins pratique à cause des difficultés de régler l'étirage progressif.

Le train présente les dispositions *figure 13* qui se rapportent à un groupe de deux paires de cylindres horizontaux et verticaux.

Avec la commande par engrenages, il arrive souvent que le tuyau est coincé entre une paire de cylindres et la suivante; il y a compression, poussée, si la vitesse de cette dernière est trop faible. Si, au contraire, la vitesse de la paire de cylindres suivante est trop élevée, le tuyau est trop étiré ; il est tractionné et peut être arraché.

Pour éviter ces inconvénients, il est préférable de commander les différentes paires de cylindres par des transmissions comportant des roues de friction, des embrayages à cônes de friction, de manière qu'il y ait glissement relatif dans un sens ou dans l'autre suivant la variation de vitesse qui se produit.

Digitized by Google

La *figure 14* montre le cas de commande de cylindres par des arbres inclinés, le mouvement se transmettant par des cônes de friction (1).

Les *figures 15* à *18* se rapportent à une disposition récente adoptée par MM. Cope et Hollings.

Tubes étirés et laminés.

En étirant les tuyaux dans un mandrin rotatif, ledit tuyau étant laminé en même temps par des disques lamineurs qui tournent dans une direction opposée, les fibres du métal prennent une torsion favorable à la résistance.

Les *figures 19* à *21* représentent une machine disposée à cet effet (2). Le mandrin B est monté sur le support A. Entre deux supports A et A′ sont disposés trois disques lamineurs D occupant une position divergente. Ils peuvent être amenés à volonté, à une distance plus ou moins rapprochée du mandrin B; ce dernier est entièrement libre à son extrémité antérieure et des poulies PP′ sont fixées sur ce mandrin à l'aide d'un accouplement à friction, de manière qu'en débrayant l'une des poulies, ou *vice versâ*, le mandrin pourra tourner de droite à gauche, ou de gauche à droite. En faisant tourner le mandrin B, tous les disques lamineurs D tournent dans un sens contraire par liaison des roues dentées RR′. Plusieurs supports H sont disposés pour y placer le tuyau qui s'étire à chaud ou à froid. Le tuyau entre par l'ouverture O; il est engagé sur l'extrémité antérieure du mandrin B, et il passe suivant toute sa longueur, entre les disques D; il est ainsi laminé et étiré en combinaison avec le mandrin B qui est à l'intérieur.

Quand l'opération est terminée, on fait tourner le mandrin B avec les galets D dans une direction opposée et le tuyau achevé sort du laminoir.

(1) Disposition préconisée par Mannesmann.

(2) Brevet du 17 mars 1887 à M. Hesse.

Digitized by Google

Ce procédé convient particulièrement pour l'étirage des tuyaux de cuivre sans soudure à chaud ou à froid.

En adoptant *(fig. 22 et 23)* (1), un mandrin intérieur à galets animés d'un mouvement de roulement et disposés de manière que leur distance à l'axe du tube puisse varier à volonté en combinaison avec des galets extérieurs, la paroi du tube est laminée sur épaisseur et non plus sur diamètre, ce qui permet de l'amincir en vue d'augmenter le diamètre sans variation prononcée de la longueur, ou de faire acquérir au métal la ductibilité perdue dans le sens circulaire par un étirage prononcé longitudinal.

Les laminoirs étireurs de tubes sans soudure agissant transversalement peuvent comporter des cylindres CC′ à rainure continue, de forme spirale conique *(figure 24 à 29)* (2) agissant sur le pourtour du tube T monté à frottement doux sur un mandrin M, maintenu sur pointes de manière à permettre la rotation de la pièce sous l'action des outils qui compriment le métal, le repoussent dans le sens longitudinal de leur déplacement suivant la longueur de la machine, tout en possédant un mouvement de rotation en sens inverse.

L'un des bouts du tube s'appuie contre le mandrin M de manière à empêcher le déplacement longitudinal du tube et aussi pour tenir réaction des outils CC′.

Les cylindres sont montés sur un chariot A se déplaçant sur le banc B *(fig. 25, 26, 27 et 28)*. Leur mouvement de rotation est donné par engrenages et arbres intermédiaires recevant l'action motrice d'une courroie.

Si le tube est ouvert à chaque bout, le mandrin est disposé comme *figure 30*. Les cylindres CC′ présentent une partie cylindrique lisse achevant le laminage.

Les tuyaux peuvent aussi être étirés par roulage entre quatre ou un plus grand nombre de disques espacés, de façon à leur

(1) Brevet Cope et Hollings, 22 juillet 1892.

(2) Brevet du 15 juillet 1890 : MM. Clowes et Randolph.

permettre, en s'encastrant les uns dans les autres *(fig. 1, pl. 34)* (1), d'approcher un tube de diamètre relativement petit et de prendre contact, sur quatre, six ou huit de ses génératrices, et même plus, malgré le diamètre relativement très grand des disques.

Chaque disque d'une même série sur le même arbre est plus petit de diamètre que le précédent, au fur et à mesure qu'il s'approche de la sortie de la pièce laminée. Des gorges en spirales coniques très rapprochées et très petites sont pratiquées dans les disques. Ces empreintes sont de plus en plus larges, au fur et à mesure que le diamètre des disques se réduit. Le dernier disque de chaque série a sa surface lisse pour parer le tube avant sa sortie.

Il résulte de cette disposition qu'un tube, engagé entre les quatre plus grands disques, se trouve entraîné par la rotation des disques qui le compriment en déplaçant le métal longitudinalement entre les disques suivants, qui, ayant des gorges légèrement plus larges que celles des premiers, élargissent les gorges déjà tracées sur le métal, et ainsi de suite jusqu'aux disques de plus petit diamètre. La *figure 2* représente l'effet des gorges de largeur progressive.

Pour éviter toute torsion du tube monté ou non sur mandrin plein, les diamètres des disques sont proportionnels aux diamètres variables de la pièce en réduction de section.

Il va sans dire que les spires coniques des disques sont, par rapport à la rotation, dirigées dans le sens qui convient pour opérer l'entraînement du métal et de la pièce de l'entrée vers la sortie.

Suivant la nature du métal, le laminage se fait à chaud ou à froid. Dans le premier cas, la vitesse est très rapide et, dès sa sortie des disques, il convient de refroidir le tube ou de le guider pour prévenir sa déformation.

---

(1) Laminoir Prétot. Brevet du 27 septembre 1890.

Digitized by Google

La *figure 3* montre la disposition d'une circulation d'eau ou d'air par la partie centrale du mandrin M.

Le laminoir peut comporter un certain nombre de cages B *(fig. 5)*, soit quatre recevant quatre arbres à disques actionnés par engrenages coniques. Le mandrin M s'ajuste à frottement doux dans une longue douille du bâti et un levier L le pousse pour présenter le tube aux premiers disques. Les *figures 6* et 7 montrent que l'action d'étirage est analogue à celle de cônes ou troncs de cônes multipliés.

Tubes coniques.

Certaines fabrications exigent l'emploi de tubes coniques que l'on peut obtenir d'une façon très régulière par étirage au banc spécial, tel que celui *figures 8* et *9* (1), dans lequel le mandrin-filière ordinaire est remplacé par deux cylindres à gorge excentrée et à diamètre de demi-gorge variable progressivement, de manière que les deux rouleaux, étant bien réglés en position relative, et possédant un mouvement dè rotation très lent alors que le tube se déplace longitudinalement, celui-ci arrive à être entièrement passé lorsque les rouleaux-mandrins ont accompli la rotation correspondant à une différence de diamètre voulue.

Comme la rotation des rouleaux, qui se fait suivant les flèches, doit être proportionnelle aux déplacements longitudinaux, c'est une corde C, attachée à la griffe G, qui produit la rotation du tambour T, dont l'arbre porte un pignon denté A actionnant la roue B montée sur l'arbre du cylindre D, relié au cylindre D′ par deux roues de même diamètre EE′. A la fin de l'opération, la corde C et les cylindres DD′ sont ramenés à leur position de départ par un contrepoids P.

(1) Machine J. Russel et Wednesburg.

Digitized by Google

Laminage sur noyau central.

Les tubes sans soudure en fer fondu, acier, cuivre, laiton, etc., peuvent encore être obtenus en rendant solidaire un manchon ou lingot creux d'un noyau en fer ou en acier, le manchon n'occupant pas toute la longueur de la pièce formant âme centrale. Puis en laminant à chaud ou à froid le barreau-ébauche ainsi préparé, de manière que le métal du manchon recouvre toute la longueur du noyau ou la plus grande partie de cette longueur.

Ce laminage peut se faire en cannelures par laminage longitudinal ou par laminage oblique ou transversal.

L'opération se termine entre deux plateaux parallèles animés d'un mouvement alternatif roulant le tube de manière à grandir son diamètre pour le détacher du noyau central.

La séparation des deux pièces est facilitée en les immergeant dans l'eau froide après les avoir portées à une température élevée (1).

Laminage sur noyau pulvérulent.

Pour permettre le laminage longitudinal d'un manchon ébauché en tuyau sans déformation transversale prononcée, on remplit l'ébauche d'un corps suffisamment résistant, tel que du sable fin non argileux constituant le noyau de coulée, du quartz pulvérisé, des battitures de laminoirs, de la poussière de charbon, des matériaux réfractaires pulvérisés, etc.

La pièce est laminée dans des cylindres ordinaires à cannelures circulaires; les extrémités du tuyau sont convenablement bouchées pour empêcher toute expulsion des matières formant l'âme.

---

(1) Procédé indiqué par M. Martin. Brevet du 25 septembre 1890.

Digitized by Google

En admettant que la densité du noyau reste constante, le volume intérieur reste le même et les longueurs sont en raison inverse des carrés des diamètres successifs.

La surface intérieure augmentant en raison inverse des diamètres, il y a diminution d'épaisseur en raison directe de la diminution des diamètres.

Pour éviter l'emploi de bouchons, l'ébauche est coulée fermée à ses deux bouts, sauf un petit trou de passage pour les gaz lorsqu'on chauffe au rouge pour laminer.

Au lieu de partir d'une ébauche annulaire, on coule le lingot sous la forme *figure 10* (1); ou encore, le lingot présente la section *figure 11* que l'on transforme par laminage à la section *figure 12*, qui est le point de départ du laminage ultérieur ayant pour but de former un tuyau aplati que l'on ouvre et régularise ensuite.

La pièce prend successivement les sections réduites *figures 13, 14, 16, 17* et *18*, et finalement *figure 19*.

La *figure 13* montre les réductions successives de l'étirage. Dans l'exemple représenté, le bloc indiqué et pourvu du noyau intérieur est plus épais aux bords qu'au milieu, dans le rapport de 3 à 2; et si l'étirage produit par le laminage est 20 0/0 ou dans toute autre proportion, la réduction d'épaisseur du métal et du bloc se fait proportionnellement dans toutes les parties, de sorte que la pièce conserve pendant toute l'opération les mêmes proportions relatives.

Lorsque le bloc a été laminé, on le fait passer entre des cylindres coupants F *(fig. 20)*, pour enlever l'excès de métal sur les côtés, et on obtient la section *figure 14*. L'ébauche est ensuite renflée à une extrémité ou aux deux, puis passée dans un laminoir lui donnant les sections *figures 16, 17* et *18* permettant d'expulser le noyau. Le tuyau est alors réchauffé pour passer dans les cylindres *(fig. 21)* en y plaçant à l'intérieur un mandrin

(1) Brevet Brooks du 5 mars 1875.

Digitized by Google

(fig. 22) pour soutenir la paroi. Le passage dans les cylindres finisseurs lui donne la forme définitive.

Lorsque le tube a pris la section *figure 17* ou *18*, on le coupe en tronçons facilitant l'enlèvement du noyau et le façonnage ultérieur de même que le chauffage.

La *figure 23* se rapporte aux cylindres ébaucheurs, disposés pour l'étirage de diverses dimensions.

Les cannelures peuvent aussi être groupées comme *figure 24*.

Onze passages à plat et de champ, par exemple, sont effectués dans les cylindres *(fig. 23)*, lorsqu'il s'agit de convertir le bloc en ébauche de tube de $0^{m},050$.

Lorsque le lingot est coulé sous forme *figure 25*, un premier dégrossissage peut être fait sur mandrin métallique au laminoir réversible double *(fig. 26)* pour l'amener à une section *(fig. 10)*.

La *figure 27* montre la disposition donnée au laminoir finisseur.

Les cylindres régularisent l'extérieur, le mandrin intérieur calibre et soutient le métal.

A sa sortie du laminoir, le tube arrive sur un chariot V, muni de galets et articulé en K afin de faciliter l'enlèvement du tube.

Quand on opère sur du laiton ou du cuivre, l'ébauche *(fig. 14)* doit subir une ou deux passes à froid avant d'être ouverte ou arrondie, afin de lui donner de la rigidité et de la ductilité, ce qui facilite son ouverture; mais le finissage se fait à chaud.

Lorsque la longueur du tube est grande et rend impraticable l'emploi d'un mandrin I *(fig. 22)*, on se contente d'introduire dans le tube une barre de fer ovale que l'on engage à frottement; on fait passer l'ensemble entre les cylindres *(fig. 21)*.

Laminage par affaissement et par renflement.

Dans ce procédé, on opère sans noyau par le laminage d'un lingot creux *(fig. 28* et *28ᵃ)* affaissé dans le premier passage

Digitized by Google

entre les cylindres, puis étiré par les passages ultérieurs dans des cannelures de forme convenable *(fig. 29)* (1).

La température n'étant pas assez élevée pour souder l'intérieur, lorsque la section de complet étirage est obtenue, on écarte la paroi pour reformer le tube par le passage entre deux paires de cylindres à axes horizontaux et à axes verticaux *(fig. 30)* qui donnent les *formes 31* et *32* ; puis, à la sortie de ce laminoir renfleur le tuyau passe sur un mandrin calibreur lui donnant la section annulaire finale *(fig. 33)*.

Si le calibrage doit être précis, les tuyaux passent au banc à tirer.

Ce procédé permet d'opérer plus rapidement qu'avec les mandrins étireurs, en évitant la dépense onéreuse de ceux-ci, mais l'ouverture de l'ébauche donne lieu à des déchets. Il se prête aussi à l'obtention de tuyaux à nervures *(fig. 40)* (2).

Dans ce cas, le lingot subit au laminoir étireur les différentes transformations *figures 34*, *35*, *36*, *37* et *38*.

La forme 39 correspond au passage dans le laminoir élargisseur, puis la forme 40 est obtenue sur le mandrin calibreur.

S'il s'agit d'obtenir un tuyau ordinaire sans nervures, la pièce peut encore prendre successivement les sections *figures 41* à *47*.

C'est par ce procédé que se laminent les tubes capillaires ou ceux de forme plate à creux limité.

On peut aussi produire des tubes capillaires de formes diverses, à fentes partielles multipliées à volonté, en partant d'ébauches cloisonnées *(fig. 48* à *53* (3) et *54* à *57)*.

Pour des cas spéciaux, par exemple pour les tubes à parois planes, on lamine sur noyau que l'on expulse après laminage *(fig. 58* à *62)*.

---

(1) Procédé adopté par M. Muntz vers 1852.

(2) Procédé de MM. O. Klatt et J.-H. Steffen.

(3) Brevet Garnier du 27 octobre 1888.

Digitized by Google

Tuyaux laminés à l'état liquide-pâteux.

Le procédé de laminage du métal à l'état liquide-pâteux sous forme de tuyau de longueur indéfinie donne lieu à la disposition *figures 1*, *2* et *3*, *planche 35* (1).

Les cylindres B sont à gorge semi-circulaire.

Entre les cylindres est placé, vers l'entrée, un mandrin cylindrique F *(fig. 6)* qui sert à guider le métal liquide contenu dans la trémie T et qui s'écoule par des orifices segmentés *(fig. 5)*.

Le débit doit être tel qu'il permette de développer au contact des cylindres et du mandrin une pression suffisante pour serrer le métal et empêcher les soufflures.

A la sortie des cylindres, deux couteaux rotatifs H *(fig. 4)* enlèvent les barbes qui peuvent se produire sur le métal au joint des cylindres.

Le tube peut encore passer par une deuxième paire de cylindres BB' *(fig. 3)* et être dirigé par une série de rouleaux R vers des laminoirs CC' disposés pour le régulariser ou l'étirer à un diamètre plus petit et assurer ainsi plus d'homogénéité, plus de résistance et de ductilité au métal. Il conviendrait de disposer aussi des cylindres à axes verticaux entre les cylindres CC'.

Tubes laminés dans des lingots pleins.

Le laminage hélicoïdal d'un lingot massif permet, ainsi que nous l'avons déjà indiqué dans les procédés généraux, d'obtenir un tube sans soudure à fibres hélicoïdales de pas variable dans l'épaisseur, ce qui assure une grande solidité, une résistance plus élevée que celle des tubes sans soudures à fibres parallèles.

Le laminage hélicoïdal donne des fibres en hélices dont le pas à l'intérieur est plus grand que celui à l'extérieur, de sorte

(1) Procédé Norton et Adcock, brevet du 25 novembre 1890.

Digitized by Google

que les fibres se croisent; toutes les parties étant ainsi bien reliées ces tuyaux peuvent subir des déformations prononcées.

Le laminage hélicoïdal exige pour les tubes un métal homogène malléable; le fer soudé ne peut être employé, tandis qu'avec le fer fondu, les divers aciers, le cuivre, le laiton, le delta, etc., on obtient des produits remarquables se prêtant à toutes opérations de façonnage ultérieur telles que celles pour pièces enroulées ou repliées formant des serpentins.

Deux procédés de fabrication (1885-1888) ont été mis en application par M. Mannesmann pour transformer un lingot massif en un tube cylindrique.

Le premier procédé, dit direct, consiste essentiellement à donner au lingot, à son entrée entre les cylindres, un mouvement de rotation par suite de l'entraînement dû aux outils.

A sa sortie du train, le métal tend à prendre une rotation relative en sens inverse, dont l'effet coordonné avec celui du mouvement de rotation précédent est de calibrer les nerfs de la pièce, puisque chacun d'eux, soumis à l'effet d'une rotation en sens inverse, à ses deux extrémités, éprouve une véritable torsion. L'enveloppe hélicoïdale, ainsi formée, détermine des réactions générales, dirigées de la circonférence au centre, et qui s'opposent à la déformation du profil circulaire obtenu.

Le laminage se fait soit avec deux cylindres obliques à empreintes hélicoïdales de pas variables *(fig. 7)*, soit avec trois cylindres à profil parabolique *(fig. 8)*. Les deux cylindres inférieurs tournent dans le même sens de manière à produire la rotation de la pièce.

Ces deux cylindres ont leurs axes parallèles et ont la même vitesse. Le cylindre supérieur a son axe oblique.

L'espace libre entre les trois cylindres, large à l'avant, va en diminuant constamment jusqu'à l'arrière, où le diamètre de la sphère inscrite entre les trois paraboloïdes est égal au diamètre extérieur que doit avoir le tube.

L'acuité plus ou moins forte de l'angle du cône supérieur

Digitized by Google

permet l'introduction de lingots de plus ou moins grandes dimensions.

L'inclinaison de l'axe du même cylindre sur celui des cylindres parallèles fait varier la vitesse de progression des tubes formés, et par suite, le pas des hélices des fibres métalliques.

Pour que la torsion de la fibre puisse se produire, il faut que l'entraînement de la couche supérieure du métal ait lieu sous l'influence de l'adhérence développée par les cylindres. Les molécules métalliques séparées l'une de l'autre vers le centre de la pièce, par le roulage, s'épanouissent sur la circonférence et également sur tout son pourtour et sur une certaine épaisseur.

La surface annulaire formée conserve une forme constante par suite du mouvement continu de rotation et il sort du train un tube de section sensiblement régulière.

La surface des trois cylindres est cannelée de rainures hélicoïdales dont la profondeur va en croissant de l'extrémité de la sortie à l'entrée. Ces rainures viennent mourir complètement à 100^{mm} de l'extrémité de sortie afin de bien parer la surface du tube.

Le métal, saisi par les cannelures, prend le mouvement giratoire superficiel qu'on lui demande. L'empreinte formée sur sa surface diminue progressivement à mesure de son passage pour disparaître complètement plus loin. La surface intérieure qui n'a pas été polie par le contact des cylindres est un peu rugueuse; toutefois, elle est d'une régularité parfaite et ne présente que rarement des défauts.

Le laminoir Mannesmann (1) est disposé de manière à permettre l'écartement des deux cylindres parallèles et l'orientation à volonté du cylindre supérieur qui n'est pas commandé, mais simplement entraîné lors de l'introduction du lingot.

Il importe de guider la barre à son entrée, de façon que son engagement se fasse toujours exactement au point convenable.

(1) Voir, première partie, la disposition de ce laminoir.

Digitized by Google

On y arrive facilement, en faisant passer la barre dans une rigole en fonte, à section convenable, dont l'extrémité vient très près de l'entrée des cylindres.

Le tube formé, qui a également tendance à serpenter à sa sortie, est reçu dans une autre rigole qui lui permet de conserver une forme à peu près rectiligne.

La vitesse des cylindres lamineurs est variable avec l'inclinaison de l'axe du cylindre supérieur. Si on suppose une assez grande déviation angulaire du cylindre supérieur, le pas des hélices formées par les fibres sera très allongé et pour une rotation de faible amplitude des cylindres, s'il n'y a pas arrachement de matière, le tube sortira avec une vitesse considérable.

On obtient dans ce cas un tube dont les fibres sont peu contournées, et par suite, de solidité moins grande. On aura, par contre, l'avantage d'une production rapide.

Si, au contraire, l'obliquité du cylindre supérieur par rapport aux autres est faible, le pas des hélices extérieures a également une faible valeur, le tube avance moins rapidement, mais la torsion des fibres est plus prononcée, et sa résistance augmente.

Les cylindres inférieurs, tournant dans le même sens et avec des vitesses égales, sont reliés l'un à l'autre par trois pignons de même diamètre.

Le nombre de tours varie de 300 à 600, suivant le diamètre du tube qui doit être laminé en quelques secondes, c'est-à-dire avant que le métal chauffé au blanc naissant ne se soit trop refroidi. A la sortie le tube peut posséder une vitesse de 2000 à 3000 tours.

Laminage avec mandrin.

Lorsque l'obliquité des galets prend une trop grande valeur pour opérer directement, on préfère combiner l'action du laminoir avec un mandrin de butée du lingot qui s'oppose à la translation et calibre aussi l'intérieur du tube en favorisant le

Digitized by Google

déplacement vers le pourtour grâce à sa forme parabolique ou conique *(fig. 9)*.

La broche porte-mandrin est mobile, tourne avec le lingot et se place de manière que le mandrin se trouve près du point où commence le creusement de la pièce.

Le mandrin est monté sur l'extrémité prismatique de la broche à frottement faible. Après laminage, il se détache aisément et permet de retirer le tube de la tige.

Pour les tuyaux de gros diamètre, on produit d'abord un tuyau-ébauche de diamètre plus petit que l'on réchauffe et dont le diamètre est renflé en le faisant passer dans un laminoir finisseur à galets coniques et à mandrin de diamètre correspondant, comme le montre la *figure 10*. Ou encore le laminage est produit au moyen de deux paires de cylindres en une seule fois *(fig. 11)*.

Les galets coniques portent également des rainures hélicoïdales, tournent en sens opposé à la même vitesse; le tube est entraîné dans le mouvement de rotation à vitesses variables en chaque point de contact, de telle sorte que l'adhérence, développée avec énergie par les entailles, détermine le déplacement hélicoïdal prononcé vers les plus grands diamètres des galets.

La broche est réglée en position, de manière que le mandrin laisse entre sa surface et celles des galets un vide d'épaisseur décroissante.

Le mandrin, dont les divers points possèdent des vitesses différentes de celles des points de contact vers l'about, produit un frottement qui rend le métal intérieur très lisse.

Il faut que le mandrin soit bien placé et conserve sa position relative pendant toute la durée de l'opération, autrement il se produit des inégalités d'épaisseur de la paroi du tube qui le rendraient défectueux. Il est difficile de bien maintenir le mandrin en position convenable.

Les *figures 12* et *13* se rapportent à diverses dispositions du

Digitized by Google

mandrin et des cylindres pour agrandir ou restreindre le diamètre des tuyaux.

Tubes fermés.

Pour obtenir des tubes fermés à leurs extrémités ou pleins en un point quelconque de leur longueur, la barre *figure 14* présente à ces endroits des sections plus faibles, égales à l'écartement des cylindres, de manière que ceux-ci n'agissent pas au moment du passage de ces parties (1).

On obtient ainsi des tubes Field dans d'excellentes conditions en découpant le tube laminé en tronçons présentant d'un côté une ouverture et de l'autre côté un fond plein sans soudure.

Au début de l'application du laminage hélicoïdal, on a contesté la valeur du procédé et la qualité des produits de la période des débuts. Mais actuellement la qualité de ces tubes est exceptionnelle et l'on obtient tous les diamètres de $2^{mm},5$ à 400^{mm}, et toutes épaisseurs de 1^{mm}, 3^{mm} à 50^{mm}, les longueurs variant de 3, 4 à 5^{m}, et même 15^{m}.

Ces tubes présentent une résistance, une ductilité remarquables. Ainsi, un tube de 300^{mm} de diamètre et de $0^{mm},5$ d'épaisseur, peut être plissé sans la moindre crique.

On cite des tubes ayant tenu des pressions d'eau allant jusqu'à une intensité de 100^{kg} par millimètre carré.

Un tube de 37^{mm} de diamètre extérieur et de $3^{mm},5$ d'épaisseur, a supporté en s'élargissant, mais sans se rompre, une pression intérieure de 17^{kg} par millimètre carré.

Le métal acier donne en barrettes découpées suivant la longueur des tubes :

Ténacité de rupture : 50 à 60^{kg} ; allongement : 25 à 20 0/0 sur 200^{mm} ; striction : 55 à 40 0/0.

Les tubes Mannesmann se font jusqu'à 15 et 20^{m} de longueur, quand on a en vue la confection des serpentins destinés

(1) L'intérieur de ces tubes renferme un gaz à 99 0/0 d'hydrogène et 10 0/0 d'azote et de gaz indéterminés. (Analyse du professeur Finkener.)

Digitized by Google

à renfermer des gaz sous pressions élevées, comme l'ammoniac et l'acide carbonique liquéfiés des machines frigorifiques. On cite un serpentin d'une seule pièce de 21^{m} de long, de 75^{mm} de diamètre intérieur, de 5^{mm} d'épaisseur, pesant 325^{kg} et tiré d'un lingot d'acier de $3^{m},60$ de long.

Afin de pouvoir remplacer les plus grosses conduites en fonte, les nouveaux laminoirs Mannesmann sont montés pour faire des diamètres jusqu'à $0^{m},800$.

MM. Wüstenhöfer et Surmann (1) ont proposé d'employer des barres ratissoires prismatiques *(fig. 15)* animées d'un mouvement de va-et-vient très rapide et entre lesquelles est placé le bloc *(fig. 16* et *17)*.

Ces barres se croisent sous un angle qui peut varier de 0 à 90°; elles sont pressées contre le bloc dans un sens du mouvement seulement; le retour se fait sans pression.

Chaque barre présente une partie inclinée et taillée qui attaque en premier lieu le métal, la partie lisse achève et polit le tuyau.

Il s'ensuit que le bloc est roulé alternativement et avance dans le sens longitudinal comme dans un laminoir hélicoïdal, mais d'une façon intermittente.

En faisant varier l'angle des barres avec la pièce, les vitesses des mouvements rotatifs et rectilignes varient aussi.

La vitesse des barres doit être aussi grande que possible afin que l'opération se fasse pendant que le métal possède une haute température, une grande malléabilité. Les barres ratissoires sont guidées convenablement et sont commandées par une chaîne cinématique à bielle et manivelle. La billette est maintenue, soutenue au moyen de mandrins M ou de broches B fixes ou mobiles *(fig. 18)*, ou au moyen de rouleaux *(fig. 19)*.

On a aussi proposé l'emploi de secteurs *(fig. 20)* oscillants autour d'axes qui se croisent sous un angle voulu.

La réussite de ce procédé est encore à se justifier.

---

(1) Brevet du 19 décembre 1892.

Digitized by Google

Tuyaux refoulés.

Le procédé consistant à refouler le métal à l'état pâteux ou liquide à travers un mandrin profileur a été appliqué vers le commencement de ce siècle (1) pour l'obtention des tuyaux en plomb de longueur illimitée.

C'est en Angleterre que furent fabriqués ces tuyaux, qui se substituèrent rapidement à ceux soudés.

Cette fabrication fut adoptée en France vers 1840 (2).

Elle a donné lieu à de multiples dispositions de machines qui, se perfectionnant et devenant plus puissantes, permirent d'obtenir des tuyaux d'une façon continue.

Nous signalerons l'une des plus récentes *(fig. 21)* (3). La presse possède une chambre à plomb qui se remplit automatiquement sans introduction d'air et en prenant le métal dans le fond d'une chaudière de fusion B disposée autour de la chambre C qui forme collecteur fermé par la matrice M. Le récipient à paroi épaisse R plonge dans la chaudière B de manière que les canaux de communication soient fermés et mis à l'abri de l'air, d'une part, par le métal liquide contenu dans la chaudière; d'autre part, par le métal retenu dans le collecteur, qui permet au récipient, lorsque descend le piston de presse K, de se remplir en excluant tout accès d'air ou d'oxyde.

La matrice M et le mandrin D peuvent varier en position relative pour obtenir la variation de l'ouverture de passage, soit pour façonner des tuyaux à parois d'épaisseur voulue.

Une chemise de tôle entoure la paroi du récipient R de façon à pouvoir y faire circuler de l'air froid et empêcher le récipient de prendre une température supérieure à 120°, qui est celle qui correspond à la plus grande ductilité du plomb, celle qui donne les meilleurs produits.

---

(1) Patente Thomas Burr, 11 avril 1820.

(2) Par M. Lagoute, de Paris.

(3) Presse de M. Hubert. Brevet du 3 décembre 1892.

Digitized by Google

Il suffit donc d'alimenter la chaudière à mesure que la presse refoule le métal dans ses mouvements successifs de monte et baisse. La pression peut varier de 1 à 10^{kg} par millimètre carré suivant la vitesse d'écoulement et la température du métal.

En sortant de la machine, le tuyau est dirigé vers une bobine qui l'enroule.

On a cherché à donner plus de résistance à ces tuyaux en combinant un mouvement de rotation avec celui de translation que possède le tuyau à sa sortie, de manière à produire des fibres en hélice.

Le procédé de refoulement du métal a été préconisé pour la fabrication des gros tuyaux courts, des ébauches de viroles de chaudières en acier doux ou en fer fondu (1).

Le métal liquide-pâteux étant versé dans la chambre ménagée entre le plongeur A et le fond du cylindre B *(fig. 22* et *23)*, la descente du plongeur chasse le métal fondu de la chambre dans le moule ou espace annulaire compris entre la paroi du cylindre B et une paroi élastique C, ou enveloppe montée sur le plongeur A, avec jeu suffisant pour permettre la contraction de la pièce sans développement de pressions énergiques rendant son enlèvement difficile, et déterminant des tensions anormales dans le métal qui ne se contracterait pas librement.

Le plongeur A est guidé, d'une part, par des armatures D s'appuyant contre le cylindre; d'autre part, par le tampon I inférieur.

Dans la paroi C sont disposés des conduits de gaz, facilitant leur échappement par le vide entre cette paroi et le plongeur.

Ce procédé, appliqué à l'acier doux, exige de fortes pressions finales pour des pièces résistantes telles que les viroles, dont les ébauches ainsi obtenues sont ensuite livrées au laminoir.

Une variante du procédé de refoulage du métal sous forme

(1) Brevet S. Fox, à Leeds, 19 mars 1885 *(Enginering)*.

Digitized by Google

de tube a été appliquée à la fabrication des petits tubes fermés à l'un des bouts et pouvant présenter une surépaisseur de l'about.

Dans une matrice A *(fig. 24)* est placée une rondelle de métal ou flan B. Un mandrin C rapporté par la tige D d'un compresseur s'applique sur le flan et oblige le métal à s'élever en formant un tube, et à pénétrer dans l'empreinte de la matrice pour en prendre la forme.

Ce procédé s'applique avantageusement aux tubes constitués par un métal malléable à froid, tel que le plomb, l'étain, les alliages mous.

Il est adopté également pour la préparation des ébauches des tubes longs en fer fondu, acier, cuivre, etc., en opérant à chaud, ce qui conduit à combiner les deux procédés de refoulage et d'étirage. Il faut des pressions considérables, ainsi que nous l'avons vu dans la première partie de cette étude, et ce procédé est appliqué, parce qu'il est difficile d'obtenir sans défauts des ébauches coulées dans un moule, ce qui éviterait l'opération dispendieuse du refoulement qui exige un métal très ductible, sinon l'ébauche est fortement tourmentée et ne peut être utilisée.

Ébauches pour tubes refoulés et étirés.

La confection des ébauches de tubes ou flans de tubes provenant de lingots pleins que l'on transforme en tubes courts et gros, étirés ultérieurement à de plus petites dimensions transversales, comporte l'emploi d'une matrice A en fonte blanche ou en acier fondu, percée d'un trou légèrement conique à surface lisse *(fig. 25)* (1).

Dans le sens longitudinal, la partie centrale a presque le même diamètre interne et la forme conique que le diamètre externe du bloc de métal chauffé B, et elle a environ le double

(1) Brevet de Robertson, 13 mars 1889.

de la longueur du bloc, de sorte que lorsqu'on place ce bloc dans la matrice par son petit bout, il porte bien sur la partie centrale de la matrice A. Celle-ci est en une ou deux parties sur joint longitudinal, assemblées dans le sens de la longueur; elles sont dressées au tour extérieurement en forme conique, puis ajustées dans une forte pièce de fonte E pouvant résister à une pression énergique latérale interne de la matrice *(fig. 26)*.

Dans le bloc B de métal chauffé à haute température, placé dans la matrice A, est engagé un mandrin pointu D *(fig. 25 à 27)* ou arrondi, présentant, en coupe transversale, une surface égale à environ la moitié de la surface interne de la matrice. Le mandrin est guidé à son entrée par une pièce C; il reçoit une poussée énergique au moyen d'une tige de piston hydraulique, et le mandrin pénètre dans le bloc qui, en raison de la forme conique interne de la matrice, produit sur le bloc un frottement latéral suffisant pour l'empêcher d'être poussé en avant par le mandrin. La majeure partie du bloc s'écoule autour du mandrin, en forme de tube ou de flan d'un tube, percé d'un trou ayant la dimension du mandrin *(fig. 27)*.

Le mandrin, lorsqu'il arrive près du bout du bloc, fait allonger le métal qui s'avance alors dans la matrice en forme de tube continu, jusqu'à ce que le mandrin ait traversé le bloc entièrement. Aussitôt l'opération achevée, le flan est retiré de la matrice, ce qui ne nécessite qu'un faible effort par suite du retrait et de la forme conique; de même le mandrin, présentant à l'arrière une tige de diamètre réduit, n'est pas retenu par le retrait de la pièce.

L'inclinaison du cône de la matrice A pour le fer fondu et l'acier doit être de 10°. En général, plus le métal est mou, plus le degré de conicité doit être grand pour donner au bloc de métal un appui suffisant contre les parois et le maintenir pour l'empêcher de glisser ou d'être chassé par le mandrin D, et pour permettre au métal de s'étaler avec assez de liberté au delà et autour du mandrin, du côté du bout large de la matrice A.

Digitized by Google

Le métal s'échappe à un moment donné vers le dehors de la matrice *(fig. 27)* en repoussant le guide C.

Pour les petites dimensions, le mandrin D et sa tige D sont faits d'une seule pièce en acier; la tige D′ ne doit pas être de trop grande longueur afin de ne pas fléchir sous l'action du grand effort relatif qu'elle subit.

La matrice est parfois à cônes échelonnés comme *figures 28, 29* et *30* pour donner plus d'appui au bloc, l'empêcher de glisser vers le petit diamètre. Cette disposition permet aussi de former des collets sur le bout postérieur ou en tout autre endroit du flan ou de la pièce B.

Pour des matrices courtes, produisant des flans courts, la partie antérieure de la matrice peut être cylindrique.

On garnit quelquefois la matrice de carton d'amiante graisseur que l'on place dans la partie antérieure à l'endroit où le métal s'étale autour du mandrin. On emploie aussi un composé liquide-pâteux à graisse graphiteuse non entièrement destructible par la haute température du métal.

Ces lubrifiants préservent la surface de la matrice et réduisent l'effort nécessaire au refoulement.

On rafraîchit aussi la matrice A en disposant dans le bâti E *(fig. 28* à *30)* des rainures peu profondes, en hélice, qui permettent une circulation d'eau sur la surface extérieure de la matrice A. Ces rainures communiquent avec une tubulure d'admission d'eau E^2 et une tubulure de sortie E^3.

Pour de grands diamètres, les mandrins D sont, de préférence, en fonte, et l'ajustage de ces mandrins aux gros bouts avec la tige D′ doit être bien fait pour résister à la forte pression qu'ils subissent.

La tige D′ est toujours en acier très rigide.

L'assemblage de D avec D′ se fait par téton emboîté sur about facilitant le montage et le démontage, et donnant une surface d'appui suffisante pour prévenir l'écrasement.

Le mandrin pénètre à travers le bloc à vitesse de $0^m,015$ à

Digitized by Google

$0^m,025$ par seconde, suivant la grosseur du bloc, sa température et sa rapidité de refroidissement. Le procédé s'applique particulièrement aux flans de gros diamètre.

La rigidité de la tige du mandrin doit être assurée et les pièces bien guidées pour obtenir une épaisseur de paroi uniforme.

Comme dimensions générales on adopte, par exemple, pour un tube d'acier ayant 200^{mm} de diamètre interne, 6^{mm} d'épaisseur et 4^m de longueur, une matrice ayant environ $0^m,90$ de longueur; ses diamètres internes aux deux bouts doivent avoir environ 230 et 270^{mm}. Le bloc de métal doit avoir environ 425^{mm} de longueur et ses diamètres aux deux bouts doivent avoir environ 237 et 256^{mm} respectivement.

A son plus grand diamètre, le mandrin doit avoir environ 206^{mm} pour former le flan du tube, et environ 920^{mm} de longueur.

Pour actionner les mandrins, il faut un mouvement rapide et pour tous diamètres ordinaires il faut aussi un grand effort (1).

La pression hydraulique emmagasinée dans un accumulateur est celle qui convient le mieux à ce genre de travail.

On combine aussi l'action de deux mandrins opposés recevant chacun une pression hydraulique et agissant sur chaque bout du bloc métallique.

Le mandrin du petit bout peut avoir des formes diverses : par exemple, être conique intérieurement ou en forme de coupe pour buter contre le bloc et lui donner cette forme, soit pour fermer des flans tubulaires tels que ceux des projectiles creux.

Le deuxième mandrin a pour effet de maintenir le bout du bloc, en partie, contre la poussée du mandrin antérieur, ce qui empêche le métal du milieu de s'arracher; il permet aussi de régler à volonté la pression sur le bout postérieur du bloc en le protégeant contre tout excès d'effort, particulièrement dans les longues matrices pour tubes. Il sert aussi pour repousser la

(1) On estime de 30 à 40^{kg} et même plus la pression par millimètre carré de section de pénétration du mandrin dans un bloc d'acier chauffé à haute température (1000°).

pièce et la tige de piston du cylindre hydraulique principal. La *figure 31* montre la position des deux mandrins D et G au début de l'opération. La *figure 32* se rapporte à l'achèvement du flan tubulaire.

Pour assurer un bon fonctionnement du mandrin G : éviter que la pression de ce côté soit supérieure à la limite voulue, on munit le cylindre hydraulique d'une soupape de sûreté à charge réglée à volonté.

La pression exercée sur la tête de G est toujours moindre que celle exercée sur le mandrin D. Si, par exemple, un mandrin transperçant un bloc d'acier chauffé exerce un effort de 32^{kg} par millimètre carré de section, l'effort sur la tête de G ne correspondra qu'à la moitié, afin qu'elle puisse reculer tout en tenant compte du frottement sur la matrice.

Le recul de la tige G peut aussi se régler exactement selon l'avancement du mandrin D au moyen de roues dentées ou tout autre dispositif et suivant les proportions du bloc sur lequel on opère et suivant la section du mandrin.

Ainsi, pour un bloc ayant le double de la section du mandrin D, la tige G doit se reculer devant le bout du bloc à une vitesse égale à la moitié du mouvement de D.

On laisse quelquefois la tige G supporter tout l'effort de poussée du mandrin D, et, dans ce cas, cette tige reste fixe, comme par exemple *figure 33*.

La tête G′ sert d'étampe pour former l'about de la pièce et la tige G chasse la pièce hors de la matrice à la fin de l'opération.

La tige du mandrin est alors pourvue d'un collier d'arrêt D″, qui limite le mouvement du mandrin vers l'intérieur, en butant contre le guide C.

On peut aussi utiliser le mandrin d'appui G′ pour agrandir, repousser l'about de la pièce supposée creuse au début de l'opération, ou pour faciliter l'obtention d'ébauches avec partie renforcée à l'about ouvert *(fig. 54* et *55)*.

Ces procédés de refoulement sur blocs pleins permettent

Digitized by Google

d'obtenir des tubes de 25 à 500^{mm} de diamètre. Pour des diamètres supérieurs, il convient d'opérer sur des blocs annulaires; ainsi un bloc de 500^{mm} de longueur, 1^{m} de diamètre et 100^{mm} d'épaisseur de paroi permet de fabriquer un tube de chaudière ou virole ayant 2^{m},100 de longueur, 1^{m} de diamètre et 12^{mm} d'épaisseur.

Il faut une force considérable obtenue par deux pistons hydrauliques de préférence à un seul.

La matrice est en trois parties A, A', A" *(fig. 34 et 35)*, le soutien G pénètre à l'intérieur de la pièce pour éviter l'écrasement, il recule suivant l'avancement de D. Ou mieux *(fig. 36, 37 et 38)*, H et D opèrent simultanément de chaque côté et ce n'est qu'à la fin de l'opération, lorsque les mandrins se touchent, que celui D repousse l'autre H en dehors de la matrice *(fig. 38)*.

Dans la préparation de ces flancs pour tubes de grand diamètre, il faut bien proportionner l'épaisseur de l'ébauche aux deux diamètres intérieur et extérieur. Il convient aussi de faire subir un martelage suffisant à la pièce ou lingot, s'il est fondu afin de serrer le métal et de lui donner la ductilité indispentable pour subir la transformation ultérieure.

Les *figures 39* et *40* montrent la disposition des presses hydrauliques.

Le piston J actionne la tige D' du mandrin D ; cette tige D' est simplement ajustée par emboîtement sur téton d'about avec la tête du piston J, qui est rappelé en arrière par une chaîne attachée à la bride d'un cylindre K, dans lequel se meut un piston L à tête munie d'un galet d'enroulement de la chaîne.

La tige G est également actionnée par un piston R se déplaçant dans un cylindre P ; le retour de R est obtenu par un petit piston Q solidaire de R, au moyen d'une tringle Q'. Entre les deux corps de presses est placé le porte-matrice E, solidement entretoisé avec la presse principale par des tiges M'M.

Digitized by Google

Les cylindres hydrauliques fonctionnent à des pressions atteignant de 100 à 150^{kg} par centimètre carré ou plus.

Finissage des flans de tubes.

Les flans de tubes sont réchauffés, et s'il s'agit de petits diamètres, ils sont étirés sur mandrin de longueur un peu supérieure à celle du tube, en le faisant passer entre des billes de fonte durcie au nombre de trois *(fig. 41, 42* et *43)*, tout en imprimant à la pièce et au mandrin D, un mouvement de rotation rapide pendant qu'il se déplace longitudinalement. Les billes S tournent, entraînées par la pièce, font pression pour réduire le diamètre extérieur et, par suite, pour produire l'étirage. De plus, les coussinets ou bague T en deux parties, ajustées avec les billes S, peut tourner dans le support A, afin de réduire l'usure des billes qui prennent un mouvement relatif dirigé obliquement à l'axe du tube qui se lamine sur toute sa longueur, peu à peu, mais néanmoins très rapidement, alors que le métal est toujours chaud.

Notons qu'à l'entrée du flan entre les sphères, il se produit un resserrement du diamètre intérieur qui sert de point d'appui au mandrin D pour déterminer la translation longitudinale. Le mouvement de rotation et de translation est donné par un mécanisme approprié.

Pour convertir un flan ou un tube épais en un tube mince de grand diamètre, on emploie *(fig. 44)* un mandrin d'appui G qui recule à mesure de l'avance du mandrin D étireur et ouvreur *(fig. 45)*.

La matrice B est en deux parties pivotant *(fig. 46)* sur des axes A'A''. Cette disposition facilite la mise en place du tube et son enlèvement dès que les mandrins se sont retirés.

Avant de placer le flan dans la matrice, on élargit un des bouts sur une petite distance jusqu'à lui donner un diamètre interne égal à celui du mandrin principal D.

Ce mandrin D peut aussi être rotatif tout en agissant longitu-

Digitized by Google

dinalement sur le métal de concert avec une tige G de soutien et de recul *(fig. 48)*.

La matrice a une longueur relativement grande, elle est encore en deux parties avec dispositif à roues d'engrenages *(fig. 47)* pour écarter ou rapprocher les deux parties A et A'.

Afin de réduire le frottement, on garnit l'intérieur de la matrice d'un lubrifiant à base de graphite.

Les gros flans de tubes sont étirés, achevés sur réchauffages répétés ou non en les faisant passer entre quatre billes *(fig. 49* et *50)*, dont la bague de logement T tourne par la commande de roues d'engrenages T^1T^2.

L'about D^1 de l'ébauche s'applique contre une tête-plateau G de la tige de soutien et de recul.

Le mandrin D est creux et sa rotation entraîne le tube qui s'étire sous la poussée horizontale produite par D.

Au lieu de billes, on emploie une série de galets cylindriques à bords arrondis S *(fig. 51, 52* et *53)*, logés dans la bague A en deux parties.

Cette bague est boulonnée sur le bâti E. La tige G et le mandrin D tournent et sont disposés comme dans le cas précédent.

Ce genre de matrice à galets exige une grande force pour déplacer le mandrin D dans le sens longitudinal; les galets donnent lieu à des frottements sur leurs faces d'appui avec la bague A. Il importe d'opérer rapidement et en plusieurs chaudes, si la réduction d'épaisseur est relativement forte.

Les *figures 54* et *55* se rapportent au cas d'un tube ou ébauche dont l'un des bouts est fermé et dont l'autre extrémité est renforcée. Lorsque le mandrin D est à fond de course, la pièce C bute contre la matrice et contre la pièce dont il régularise l'about.

Défoncement avec mandrin rotatif.

M. Robertson emploie de préférence le mandrin *figures 1* à *4*, *planche 36*, pour défoncer les lingots malléables tels que ceux en

Digitized by Google

acier doux à haute température, pour former les ébauches des tuyaux ou des tubes. Il donne au mandrin un mouvement de rotation et de translation dont la vitesse hélicoïdale est d'environ 10 à 12^m par seconde, afin que le mandrin reste suffisamment froid, vers la fin de l'opération. Le mouvement longitudinal du mandrin dans le métal chaud est d'environ 20^{mm} par seconde.

Pour le cuivre, le laiton à froid, la vitesse circonférentielle est de 0^m,100 par seconde et les cannelures du mandrin sont utilisées pour introduire de l'huile au bout postérieur.

Le mandrin à pointe *(fig. 5)* a l'avantage de bien se centrer; il convient de percer le bloc, du côté de la sortie, avec un foret ordinaire, sur une petite longueur, pour empêcher le mandrin d'arracher une partie du métal lorsqu'il débouche. Il faut aussi percer un trou analogue, pour le début de l'opération, à l'autre bout du lingot.

Dans le percement des lingots à chaud, particulièrement de pièces de petit diamètre, comme celles pour canons de fusil, toutes les opérations de mise en place, de percement, d'étirage doivent être faites rapidement pour éviter que la pièce ne se refroidisse trop. Dans ce cas, le meilleur diamètre à donner aux mandrins pour le percement varie entre 12 et 25^{mm}, et on les fait tourner à la vitesse de 10.000 à 20.000 tours par minute, ce qui nécescite des moyens particuliers.

Les *figures 6*, *7* et *8* indiquent le mandrin tournant A, dans un bloc B placé entre une matrice C prismatique et un galet de cylindrage C′. La matrice C est poussée par la tige d'un piston hydraulique E.

Pour obtenir la rotation du mandrin A à grande vitesse, on emploie la commande *figures 9, 10* et *11*. La tige A′ du mandrin est saisie entre des galets S, que l'on peut à volonté écarter ou rapprocher vivement pour arrêter ou produire le mouvement de la tige, en actionnant le levier U.

Les figures comportent une matrice longue C recevant la pièce. Pour de petits diamètres de mandrins agissant sur des métaux

Digitized by Google

mous, la poussée due aux cylindres obliques S donne suffisamment de pression ; mais pour les fortes dimensions, on fait usage d'un pousseur hydraulique F actionnant la tige A'.

Le mandrin *figure 12*, à rainure hélicoïdale, est particulièrement employé pour l'étirage d'une ébauche en tube mince ; les mandrins A et C tournent en sens opposés et le tube B avance sous la poussée ou traction du banc à tirer et en même temps sous l'action de l'outil formant écrou.

La forme du filet représenté convient pour les métaux de dureté du cuivre à froid ; pour l'acier, il faut des filets moins arrondis et ordinairement trois ou quatre spires suffisent pour obtenir le plus grand effet d'étirage convenable.

La profondeur du mandrin fileté pour produire le meilleur effet d'étirage doit être à peu près égale au diamètre du tube, et l'on peut faire tourner le mandrin intérieur de préférence dans la direction opposée de celle de la matrice, comme l'indiquent les flèches ; mais il est plus commode de rendre le mandrin intérieur fixe, ou d'opérer sur un mandrin ne possédant qu'un mouvement longitudinal.

Le mandrin extérieur peut être lisse comme *figure 13*, et c'est le mandrin intérieur qui présente des filets ; cette figure se rapporte au cas où l'on suppose que le mandrin intérieur ne fait que soutenir et polir le métal. Pour cette opération, un mandrin *(fig. 14)* formé par l'enroulement d'une baguette d'acier convient bien.

Dans le cas d'agrandissement du diamètre intérieur, on emploie le laminoir *(fig. 15* et *16)* avec mandrin intérieur à tête conique armée de filets. Ou encore *(fig. 17)* les deux mandrins sont pourvus de filets. Il importe, comme d'ailleurs dans toutes les opérations à chaud sur les ébauches ou sur les tubes que la chauffe soit très régulière (1).

(1) Le four Charneau à gazogène, à récupération d'air par renversement, est tout particulièrement à recommander pour le chauffage des tubes ou autres pièces qui exigent une chauffe uniforme.

Digitized by Google

- S'il s'agit de blocs pleins, le mandrin a la disposition *figure 18*.

Pour actionner les mandrins à filets, M. Robertson a adopté un banc à tirer à dispositions (*fig. 19* et *20*). Le mandrin est représenté muni de sa tige A' animée d'un mouvement de rotation donné par un arbre horizontal muni d'un petit plateau d'entraînement. Cet arbre est creux de manière que la tige A puissse être saisie à volonté par une pince lorsqu'on veut retirer le mandrin.

Un cylindre hydraulique M imprime le mouvement longitudinal avec une forte pression à son bélier F, dont la tête porte contre le bloc de la matrice C recevant le lingot ou la pièce.

Pour faire tourner au besoin la tige F' du plongeur F et par suite la matrice C, un long pignon denté Q est monté sur un arbre R recevant son mouvement de rotation par la commande de tête. La longueur du pignon Q correspond à la plus grande course du plongeur. Ce pignon engrène avec une roue P montée sur la tige F' reliée au plongeur F par un assemblage permettant la rotation indépendamment du mouvement de translation.

En vue de réduire l'effort de poussée à exercer sur le mandrin, le lingot peut être de section carrée (*fig. 21* et *22*), prenant appui latéralement dans la matrice par ses arêtes arrondies, tout en étant maintenue par l'about opposé au mandrin défonceur M. Le métal se déplace ainsi latéralement, la billette s'ouvre plus facilement.

M. Boulet (1) a proposé comme variante de l'obtention des ébauches ou des tubes courts l'emploi d'un poinçon à arêtes tranchant le métal avant de le déplacer latéralement et de le refouler, pour lui donner la forme de la matrice qui est en plusieurs parties formant un ensemble très solide (*fig. 23* et *24*).

Dans cette matrice sont introduits un tube R, une tige S et l'ébauche Q à section pleine.

(1) Aix 1869. Brevet du 12 décembre 1892.

Digitized by Google

Les pièces Q et S remplissent le tube R en laissant un certain jeu longitudinal.

Le poinçon P de forme spéciale, solidaire d'un piston de presse, coupe, ouvre l'ébauche tout en la poussant pour la dégager du tube R à mesure que l'opération s'effectue. Au début *(fig. 23)*, l'ébauche Q se trouve maintenue à sa partie supérieure et le poinçon agit par pénétration, à la manière d'un coin qui coupe et développe des pressions latérales qui appliquent, en l'écartant, le métal contre la paroi intérieure de la matrice. Les sections transversales sont telles que l'outil donne le moins possible lieu à des actions de refoulement longitudinal.

Le rôle de la tige S, convenablement maintenue, est d'équilibrer la pression longitudinale dont le maximum correspondrait à celle pour laquelle l'ébauche refoulerait. L'opération peut ou non être poursuivie pour déboucher l'ébauche de part en part.

Le procédé peut s'appliquer aux divers types de tubes, en variant les dispositions des outils.

Ainsi les *figures 25* et *26* se rapportent à une matrice pour tubes à ailettes extérieures circulaires. La *figure 27* correspond à des ailerons extérieurs.

Pour obtenir des ailerons intérieurs, droits ou en hélice, il suffit de ménager dans le poinçon des empreintes qui y correspondent.

Le procédé peut encore être adopté pour l'ouverture des tubes laminés à plat avec fente au milieu *(fig. 28)*.

Pour prévenir les criques à chaque extrémité de la fente, l'ébauche laminée, au lieu de présenter des champs ronds *(fig. 28)*, a des champs à angles émoussés *(fig. 29)*, laissant ainsi un complément de matière à l'angle.

On introduit un mandrin dont l'extrémité est à sections croissantes *(fig. 31)*, rachetant la section aplatie d'about et celle circulaire finale.

Dans l'opération, les sommets extérieurs des angles touchent la matrice; ils se trouvent ainsi maintenus et le métal a moins de tendance à se criquer à l'intérieur.

Digitized by Google

Comme cependant la fente présente un angle intérieur vif, on ne saurait, à notre avis, prévenir la production de cassures longitudinales, à moins d'opérer sur un métal présentant une très grande ductilité. La *figure 30* indique une ébauche pour tuyau à section rectangulaire.

Les diverses variantes du procédé de refoulement et d'étirage préconisés et appliqués avec succès par M. Robertson montrent qu'actuellement la fabrication des corps creux sans soudure en acier doux, entre dans la période industrielle, après avoir passé par les divers tâtonnements qu'imposait l'adoption de moyens mécaniques mettant en jeu de grands efforts et des grandes vitesses dans le cas du mandrin rotatif. Nul doute que le chauffage électrique pendant l'opération la faciliterait.

Tuyaux de cuivre obtenus par dépôts électrolytiques.

L'électrolyse appliquée à la fabrication des tuyaux comporte l'emploi d'un mandrin A *(fig. 32)* cylindrique en fer, ayant le même diamètre que celui du tuyau. Ce mandrin est plongé dans un bain de sulfate de cuivre; il est animé d'un mouvement lent de rotation autour de son axe (1).

Dans le bain sont disposées plusieurs barres de cuivre ayant la même longueur que le mandrin. Elles sont en communication avec le pôle positif d'une dynamo ou d'une batterie d'accumulateurs, tandis que le cylindre de fer est relié à leur pôle négatif.

Quand on ferme le circuit, le mandrin se couvre lentement d'une couche uniforme de cuivre pur, à laquelle on peut donner l'épaisseur voulue.

Le dépôt effectué de cette manière est peu dense, il manque de cohésion et ne peut supporter que de faibles efforts. Pour augmenter les propriétés de résistance, on comprime le métal d'une façon régulière, pendant que le dépôt se forme, à l'aide

(1) Brevet Elmore, 9 février 1886. (*Enginering*, mai 1886.)

Digitized by Google

d'un outil en agate B qui se déplace automatiquement d'un bout à l'autre du cylindre. Ce mouvement longitudinal est combiné avec celui de rotation du mandrin de manière que le brunissoir passe sur tous les points du tuyau, et que la couche déposée subisse exactement partout la même pression.

Quand la couche a atteint l'épaisseur voulue, le mandrin est exposé à l'action d'un courant de vapeur ou d'air chaud; le cuivre se dilatant plus que le fer, le tube peut être enlevé sans difficulté.

Ces tubes peuvent être construits d'une longueur et d'un diamètre quelconques.

La pureté du métal est très grande; on n'y rencontre aucune trace de corps étranger; l'homogénéité du métal est parfaite; ces tuyaux supportent les plus fortes pressions; ils présentent une ténacité et une ductilité supérieures à celles des tuyaux ordinaires brasés et même des tuyaux sans soudure. En soumettant ces tuyaux à quelques passages au mandrin-filière, on augmente leurs propriétés de résistance dans une grande mesure.

Leur fabrication est encore d'un prix de revient assez élevé.

Restreignage des tubes.

Certains tubes sont de diamètre réduit à leurs extrémités ou en un point quelconque de leur longueur.

La diminution de diamètre ou restreignage du tube est obtenue, par exemple, par quatre galets A *(fig. 33* à *37)* (1) qui tournent simultanément et déterminent un laminage longitudinal partiel, réglable à volonté suivant la durée du passage et suivant la forme donnée aux galets.

Ceux-ci peuvent aussi produire la forme conique en les construisant de manière que le cercle ou cannelure formé par leur réunion aille en diminuant graduellement de diamètre pendant leur rotation; on part d'un tube cylindrique correspondant au plus grand du tube conique, dont les dimensions vont en dimi-

(1) Brevet Bariquand du 17 mars 1888.

Digitized by Google

nuant depuis ce diamètre jusqu'au plus petit, et dont la longueur restreinte, sans changer les galets, peut être au maximum celle de la circonférence de ces galets.

En changeant les galets et en faisant plusieurs passes, le laminoir donne la possibilité de faire des longueurs quelconques.

Les quatre galets sont actionnés par engrenages.

Les parties travaillantes sont rapportées et rechangeables.

Dressage des tubes.

Les tubes étirés, s'ils doivent être bien droits, sont dressés sur une table ou sur un mandrin au moyen de maillets.

On emploie aussi des appareils rouleurs comprenant une table fixe sur laquelle se place les tubes *(fig. 38)*. Sur ceux-ci s'applique un plateau mobile mis en mouvement alternatif par un excentrique et une bielle.

Cette machine est utilisée pour les tuyaux en fer encore chauds à la sortie du mandrin-filière. On arrose la table pour détacher les battitures.

De même la machine à dresser *(fig. 39 à 45)* comporte une table A à surface supérieure bien rabotée (1).

Dans l'épaisseur de la table est ajusté un tuyau C *(fig. 39)* qui traverse la table ; le tuyau et la table sont percés, à cet endroit, d'une série de petits trous, à travers lesquels de l'eau sous pression s'écoule pour nettoyer et faire sauter les battitures, et aussi pour refroidir et empêcher la table de se fausser.

Sur deux traverses F du bâti se déplacent deux glissières H qui peuvent se soulever ou s'abaisser pour soulever au besoin le presseur oscillant J qui roule et dresse le tuyau en possédant un mouvement de va-et-vient au moyen d'excentriques N reliés au presseur J par des tiges P ou par un cylindre à vapeur *(fig. 45)*.

---

(1) Machine Pékins. Brevet du 8 septembre 1879.

Digitized by Google

Le presseur J est cloisonné et forme des chambres dans lesquelles on met de l'eau pour régler le poids et le refroidir pour l'empêcher de se fausser.

Le tuyau est placé sur la table quand le presseur est à fond de course arrière et s'arrête; le presseur étant ensuite relevé de manière à se trouver horizontal, le mouvement de va-et-vient lui-même est donné et le tuyau se roule, se dresse.

Dresseuse à plateaux rotatifs.

La machine à dresser *(fig. 46)* est du modèle Lauth (1). C'est une rouleuse à plateaux rotatifs PP' montés sur des arbres horizontaux reliés par des roues d'engrenages.

Le plateau P' peut se déplacer dans le sens de l'axe de l'arbre pour se rapprocher ou s'éloigner à volonté du plateau P, régler l'écartement suivant le diamètre du tuyau. Ce déplacement est obtenu par la vis V munie d'un volant-manivelle M.

Les deux disques PP' tournent à volonté, soit en sens inverse, soit dans le même sens, de manière à donner au tuyau un mouvement de rotation, tout en le faisant avancer ou reculer entre les plateaux dont les axes ne sont pas à la même hauteur, afin de déterminer le roulement de la pièce, qui est supportée et guidée par des supports appropriés.

Pendant le passage du tuyau entre les plateaux, on régle à volonté, par la vis V, la pression nécessaire pour produire le redressement qui se fait ainsi rapidement à froid ou à chaud.

Coudes et serpentins.

Les coudes, les serpentins ou tuyaux contournés peuvent présenter les dispositions des *figures 1* à 7, *planche 37*.

Ils sont formés soit d'un seul tube avec brides d'extrémité,

---

(1) Brevet du 10 mars 1874.

Digitized by Google

soit de plusieurs éléments, en vue de faciliter l'exécution, qui met en application les procédés de cintrage, de coudage, d'enroulage en hélice ou en spirale plane ou conique, toutes opérations sur lesquelles nous n'avons pas à nous arrêter, attendu que nous les avons signalées dans la première partie, et qu'elles n'offrent pour les tubes rien de particulier, si ce n'est l'emploi de quelques machines spéciales ou de mandrins ayant pour but d'éviter la sujétion du remplissage des tubes en fer avec du sable et des tubes en cuivre avec de la résine.

Ce sont généralement les tuyaux de petit diamètre qui se *serpentent* d'une seule pièce, ou ceux dont le développement n'exige pas une trop grande longueur, que ne permettent pas d'obtenir les bancs d'étirage.

Indiquons que le cintrage des tuyaux peut se faire en introduisant un tube de caoutchouc dont le diamètre est légèrement plus petit que celui du tuyau.

Les deux extrémités du tube de caoutchouc sont munies de bouchons métalliques réunis l'un à l'autre par une chaîne intérieure qui a pour but de s'opposer à l'allongement du tube.

L'un des bouchons est pourvu d'un robinet d'air, l'autre est raccordé à une pompe à eau, afin de remplir le tube et de le renfler pour qu'il s'applique bien à l'intérieur du tuyau.

Dans ces conditions, on procède au cintrage; la garniture intérieure s'oppose à toute déformation transversale.

Le liquide se prêtant mieux qu'un corps solide, tel que la résine, à la déformation longitudinale ou de cintrage, le travail mécanique nécessaire est moins grand.

De plus, le remplissage et le vidage du tuyau se fait plus rapidement (1).

Coudes plissés.

Les tuyaux de faible épaisseur à coudes circulaires (*fig. 8* et *9*) s'obtiennent à la coudeuse-plisseuse (*fig. 10* à *16*) (2).

(1) Procédé Oesten. (*Revue universelle* du 5 mars 1894.)
(2) Brevet à M. Bertrams du 3 juin 1878.

Digitized by Google

L'ébauche cylindrique droite est courbée progressivement en pliant le métal, qui s'accumule vers le cercle de gorge, les plis font saillie en dehors, entourent la surface de plus grande courbure et se terminent peu à peu de manière que le pourtour à courbure minimum reste lisse.

Le tube droit T est passé sur le disque mobile G et la tête E *(fig. 11 à 16)* pour de là pénétrer dans la fente d'un manchon R, où il est assujetti par le levier S.

Le tube est ensuite poussé en arrière, avec le manchon, sur le cylindre D, pour la formation du cercle de longueur appropriée; puis des mâchoires F *(fig. 12)* sont fermement serrées, ce qui produit un renflement ou première façon dans le métal, sans lequel aucun pli régulier ne saurait être obtenu; ce renflement est formé par un bossage de la tête E et la cavité correspondante des mâchoires F *(fig. 11-16)*.

Ces dernières se rouvrent; le levier N *(fig. 14 et 15)* est ramené en arrière et fait avancer d'une dent un entraîneur P ou transporteur sur la barre d'entraîneur Q *(fig. 14)*, en faisant en même temps avancer le manchon avec le tuyau, au moment ou le levier est abaissé, de telle manière que le renflement vient se placer avec les mâchoires qui l'encastrent précisément entre la tête E et le disque G.

A ce moment, les deux mâchoires F, H *(fig. 12 et 13)* sont fermées, le levier N est ramené, la communication de l'arbre moteur excentrique avec les tirants M, les mâchoires H et le disque encastré F pressant la partie métallique déjà préparée, en formant ainsi un pli lisse, uni, se terminant dans le sens de la descente peu à peu en pointe.

Les mâchoires FH s'ouvrent de nouveau et le levier N est abaissé, ce qui ramène dans leur position normale les mâchoires H et le disque G, celui-ci à l'aide du ressort en spirale disposé entre lui et la tête E autour de la vis V. Par l'abaissement du levier N, la nouvelle première façon ou renflement

Digitized by Google

est également de nouveau transportée entre la tête E et le disque G, le tout comme *figure 16*.

Les mâchoires se referment donc et l'opération se poursuit, ce qui produit la formation de pli contre pli, jusqu'à ce que la courbure soit entièrement obtenue.

Au moyen de la machine *(fig. 17 à 20)* (1), on peut courber un tuyau mince (fer ou cuivre) en serpentin hélicoïdal de petit diamètre, sans remplir le tuyau et sans l'endommager ou le réduire en dimensions.

L'amenage du tuyau aux organes de cintrage comprend des mâchoires MM de longueur suffisante pour ne pas écraser le tuyau sous l'effort de serrage nécessaire.

Le serrage des mâchoires est obtenu par les leviers LL articulés avec un coulisseau C se déplaçant horizontalement. L'extrémité antérieure d'un tuyau, qui est droit sur une certaine longueur, pénètre entre le guide G et le galet D. La machine étant mise en marche par la poulie P, dont l'arbre porte une vis sans fin actionnant l'engrenage V, le déplacement du coulisseau C se produira par l'action de la came A; les bras des leviers L agiront sur les mâchoires MM. Puis le mouvement d'avance du coulisseau C se continuant, ce coulisseau vient appuyer contre celui qui est poussé, entraînant ainsi les mâchoires et le tuyau qui s'engage entre le galet B et le galet D qui cintrent la pièce. Puis le tuyau passe sur un galet guide à axe horizontal F, qui le relève de manière à lui donner le pas déterminé suivant l'hélice à obtenir.

Le tuyau avance ainsi d'une façon intermittente. Lorsque les mâchoires M sont à bout de course, la came A desserre les leviers L et les mâchoires M, fait revenir en arrière les coulisseaux C et C′; puis, de nouveau agit pour serrer les mâchoires et produire un nouvel avancement du tuyau.

---

(1) Brevet Fowler du 30 juillet 1889.

Digitized by Google

Les machines à mouvement continu sont préférables. Le type *figures 21* à *23* (1) comporte deux rouleaux A et B qui saisissent le tuyau dans leurs gorges et l'empêchent de se déformer en section; les deux galets C et D le cintrent suivant courbure progressive variable en opérant en plusieurs passages alternatifs, la machine comprenant une commande à deux courroies, l'une droite, l'autre croisée.

Le mouvement de rotation est transmis aux galets par deux roues d'engrenages cylindriques EE′ et deux roues coniques FF′, cette dernière montée sur l'arbre du galet C; deux autres roues coniques GG′, cette dernière montée sur l'arbre du galet D, transmettent la rotation à ce galet D; les roues HIJ relient l'arbre du galet B à l'arbre du galet C; les trois galets BCD étant ainsi entraîneurs. Par la manœuvre du volant V, on règle la position des galets A et B par rapport aux galets C et D, et on exerce la pression.

Tuyaux flexibles.

Ce n'est que depuis quelques années que l'on construit des tuyaux flexibles (*fig. 24, 25* et *26*) entièrement métalliques et présentant les qualités de résistance et de souplesse désirables.

Le tube *figure 26* (2) est formé au moyen d'une bande de métal (fer, acier, cuivre, laiton) de largeur variable avec le diamètre à obtenir et à laquelle on donne d'abord la forme de trois cannelures juxtaposées et de grandeurs différentes. En enroulant la bande en hélice, la grande cannelure recouvre entièrement la petite de la spire précédente, tout en laissant un jeu latéral pour permettre la flexion du tube dans tous les sens. Au début, le joint était complété par l'interposition de chanvre ou d'amiante que l'on disposait dans une gorge ménagée dans la paroi extérieure de la petite cannelure. Mais l'usage a montré l'inutilité de ce joint même sous forte pression, attendu

(1) Machine Watson-Laidlan, Glascow.

(2) Patente Sphincter Grip (1887).

Digitized by Google

que la pression intérieure a pour effet de serrer plus fortement les spires les unes contre les autres et d'assurer l'étanchéité.

La flexibilité varie avec le diamètre : un tube de 8^{mm} de diamètre peut être cintré suivant un rayon de $0^{m},10$; le tube de 25^{mm} suivant un rayon de $0^{m},15$.

La confection des tubes flexibles s'opère d'une façon continue à l'aide d'une machine qui donne à la bande de métal la forme convenable en passant entre deux cylindres lamineurs, puis l'enroulement se fait sur recouvrement en hélice.

Ainsi, avec la machine *figure 27*, si une bande est présentée bien parallèle dans le sens de la flèche F par le guide A, vers les deux galets BC et sort par le guide D à partie guidante creuse, la bande sort en forme de gouttière ou de bague.

Au moyen des poignées E montées sur les arbres des pignons G, les guides A et D sont déplacés à volonté, puis rendus fixes, pour donner par leurs positions relatives des courbures différentes. Si on remplace, après la première opération, le guide A par le guide H, et introduisant la bande ébauchée suivant la flèche F, la bande se roule sur elle-même. Après avoir tourné plusieurs fois dans les deux sens en réglant la courbure peu à peu, la bande s'achève et se roule en hélice; un recouvrement des pinces ou bords se produit et l'on obtient un tuyau complet flexible et étanche. Les ébauches se font sur une machine, une autre achève.

Ces tubes flexibles exigent des bandes d'acier galvanisé ou de bronze ductile de grande longueur. Pour 1^{m} de tube, il faut environ 10^{m} de longueur de bande, de sorte qu'il est assez difficile de fabriquer de longs tubes. Il faudrait employer des bandes de longueur dépassant 100^{m} qui s'obtiennent au laminoir continu.

Ces tubes se fabriquent actuellement (1) depuis 4^{mm} jusqu'à 400^{mm} de diamètre, en tuyau simple ou en tuyau double pour les fortes pressions.

---

(1) Usine de la Jonchère, près Rueil.

Digitized by Google

Ces derniers jusqu'à 10^{mm} résistent à des pressions de 180^{kg} par centimètre carré; ceux de 25^{mm} résistent à 100^{kg}.

Leur prix de revient n'est pas plus élevé que celui des tuyaux de caoutchouc et fil de fer.

Ces tubes sont employés pour lancer la vapeur destinée au nettoyage des chaudières, pour l'eau, les huiles, le pétrole, les gaz sous pression, etc.

Les petits tuyaux rigides ou flexibles formés d'une bande métallique enroulée en hélice s'obtiennent encore avec la machine *figures 28* à *31* (1).

La bande est engagée dans l'entaille F du mandrin M dont le diamètre est égal à celui du tuyau à produire *(fig. 29)*. La bande est enroulée à la main sur plusieurs spires, puis on engage le mandrin entre les trois galets G, G, G *(fig. 30)*, que l'on serre sur les spires faites, de façon qu'ils appliquent bien la bande sur le mandrin. De l'autre côté *(fig. 28)*, le mandrin est rendu solidaire d'un arbre tournant à volonté dans les deux sens et commandé par courroies.

La rotation du mandrin enroule la bande et le chariot D porte-galet se déplace sur la barre A.

Lorsque toute la longueur des barres a été parcourue, on ramène le chariot, le tube recule aussi, puis on recommence.

On peut aussi rendre le porte-galets fixe, le tuyau s'échappe alors en arrière à mesure de sa formation; dans ce cas, sur le mandrin se trouve une bague C *(fig. 31)* maintenant une bague à trois bras E qui s'appliquent contre le porte-galets. On détermine par le déplacement de la bague C, la longueur du tuyau qui doit être enroulée sur le mandrin pour qu'il y ait entraînement.

Les tuyaux flexibles sont aussi obtenus par l'enroulement en hélice d'une bande métallique laminée en forme de double gouttière *(fig. 32* et *33)* (2) de telle sorte que l'une des gouttières de la

---

(1) Brevet Levasseur et Witzenmann du 24 février 1887.

(2) Brevet Levasseur et Witzenmann du 4 août 1885.

Digitized by Google

bande qui s'enroule s'emboîte dans l'autre gouttière de la partie déjà enroulée; un caoutchouc ou un fil d'amiante logé entre ces deux gouttières assure l'herméticité du joint.

Ces tuyaux métalliques présentent aussi une certaine souplesse et une résistance relativemen grande.

On emploie soit la section *figure 32*, soit celle *figure 33*.

Dans le premier cas, l'enroulement donne la disposition *figure 34*.

Dans le second cas, le tuyau présente la forme *figure 35*.

En enroulant deux bandes l'une sur l'autre à recouvrement des joints, on peut se dispenser de la garniture assurant l'étanchéité ou encore le simple contact du métal que l'on a soin de sertir au moment de l'enroulement permet d'obtenir l'herméticité du tuyau.

Tuyaux flexibles plissés.

Les tuyaux flexibles plissés sont formés de rondelles découpées, embouties, serties et soudées, de façon à former un ensemble résistant et parfaitement étanche.

On découpe des bandes de métal au moyen de cisailles circulaires. Ces bandes sont étamées après décapage, dans un bain de soudure en fusion, de manière à ne laisser qu'une couche suffisante pour assurer une bonne soudure ultérieurement. Les bandes sont ensuite découpées en rondelles mâles et femelles à la poinçonneuse.

Embouties et ajourées en matrices, elles sont assemblées et serties au tour à molettes *(fig. 36 à 38)* (1). Les différentes opérations préparant les ébauches *(fig. 39 à 46)* se font mécamécaniquement.

Le sertissage complémentaire se fait de la façon suivante :

Les rondelles à sertir, de préférence, déjà assemblées par couples mâles et femelles, sont placées en nombre voulu sur

(1) Brevet du 8 juillet 1890. Procédés Legat (Châl. 1850).

Digitized by Google

l'axe F *(fig. 36)*, les mâles en regard des femelles; l'axe F est mis en pointes et y est tenu au moyen de la contre-pointe M ramenée par le levier P; le premier couple est saisi par les lunettes du plateau B, ouvertes à cet effet par un léger mouvement en arrière du plateau B sur celui D, et aussitôt refermées par un mouvement inverse; la femelle du couple en dehors de la lunette est tenue en prise avec le mâle du couple suivant, au moyen de la douille R, ramenée en position pour exercer, à cet effet, une poussée suffisante directe ou reçue et transmise par les couples intermédiaires en attente.

Le mouvement de rotation étant imprimé aux pièces, la molette G est approchée au moyen du levier H et prend elle-même un mouvement de rotation au contact du bord qu'elle rabat et couche sur le mâle en l'y serrant par pression énergique. On ramène ensuite la molette en arrière; on arrête la rotation, on saisit le couple serti extérieurement, on assure le contour des nouveaux couples à sertir en avançant la douille R sur son axe F et on opère un autre sertissage de manière à produire les liaisons *figure 47* à *52*. L'opération finale de la soudure des éléments se fait en portant le métal à une température capable de faire fondre la couche de soudure dont est revêtu le métal, soit, de préférence, dans un bain de suif chauffé, soit par un courant électrique.

Les nervures circulaires concentriques ne suffisant pas pour assurer une grande élasticité, M. Herbet adopte des nervures additionnelles formées de parties droites ou courbes disposées obliquement aux rayons. Les tuyaux sont ainsi flexibles à la torsion.

Récipients.

Les récipients forgés contenant des fluides présentent de nombreuses dispositions dont nous ne pouvons retenir que les principales. Ce sont des appareils plus ou moins complexes constitués par des éléments simples assemblés par rivures,

Digitized by Google

soudures ou par d'autres organes auxiliaires donnant lieu à des façons d'ajustage que nous n'avons pas à considérer.

Parmi les appareils contenant des fluides sous pression, les plus importants sont les chaudières à vapeur dont les modèles, bien que très variés, sont réductibles en pièces de formes générales planes, cylindriques, coniques, sphériques, etc., qui donnent lieu à l'application de procédés de mise en œuvre peu différents les uns des autres.

Récipients à éléments rivés.

Les récipients à éléments rivés comportent des parois planes ou courbes. Dans le premier cas, les tôles sont dressées, découpées, percées et assemblées directement entre elles ou par des fers spéciaux au moyen de rivets.

Par exemple, les cuves, les réservoirs ordinaires peuvent être assemblés comme le montrent les *figures 1* à *5*, *planche 38*.

Certains de ces appareils de petites dimensions comportent des tôles assemblées par recouvrement et soudées ou brasées.

Si les parois sont courbes, cylindriques ou sphériques, les tôles sont cintrées ou embouties, les rivures étant encore à recouvrement ou à couvre-joint *(fig. 5* et *6)*.

Les éléments sont reliés entre eux *(fig. 7* et *8)* soit directement par emboîtement rivé, soit par couvre-joints cintrés ou par des pièces de formes appropriées donnant lieu à un travail de forgeage plus ou moins difficile suivant que la forme est plus ou moins tourmentée.

Nous signalerons seulement quelques cas généraux :

Viroles rivées.

Les opérations de forgeage d'une virole cylindrique ou conique rivée consistent simplement dans le cintrage à froid ou à chaud et dans le rivetage du joint ou des joints au nombre de deux lorsque la virole est de grand diamètre.

Digitized by Google

Autant que possible, on opère avec des tôles permettant de ne former qu'une seule couture.

Le cintrage est fait, après poinçonnage des trous, à la machine à cintrer du type à rouleaux.

Si l'assemblage de deux viroles adjacentes comprend des triples ou quadruples épaisseurs, on a soin, avant cintrage, d'amincir les pinces à l'endroit des épaisseurs multiples.

Après envirolage, il importe de rectifier la concordance des trous par un alésage au foret.

Le rivetage de la couture longitudinale n'offre rien de particulier, soit qu'il se fasse au marteau, soit qu'il s'effectue à la machine à river.

Il en est de même des coutures transversales ou circulaires reliant les viroles entre elles deux à deux, par emboîtement des deux côtés ou d'un seul côté.

Si une virole doit se river avec une paroi plane *(fig. 9)* on rabat l'extrémité après l'exécution de la couture longitudinale, en ayant soin de raccorder le rebord à la partie cylindrique par un congé prononcé afin d'éviter les criques, les déchirures.

Ou bien, la liaison est faite *(fig. 10)* au moyen d'une pièce de jonction présentant deux rebords et une partie emboutie permettant les effets de la dilatation et de la contraction sans déterminer la production rapide de criques à l'usage.

On adopte aussi une liaison avec cornière annulaire *(fig. 11)*.

Les fonds emboutis des récipients sont exécutés d'une seule pièce avec rebords suffisamment relevés pour permettre de les river aux autres éléments, comme le montre la *figure 12*.

S'il s'agit d'un récipient sphérique *(fig. 13* et *14)*, on le cons titue avec une série de girons *(fig. 15)* emboutis au mandrin, et avec deux calottes provenant chacune d'un vaisseau circulaire *(fig. 16)*. Ces pièces sont rivées à recouvrement ou à couvre-joint. La *figure 17* se rapporte à une tête de récipient ouvert obtenue par emboutissage au marteau et rivée sur une partie cylindrique.

Digitized by Google

La *figure 18* indique la liaison de diverses formes entre elles par rivures.

Viroles brasées.

Les viroles brasées pour récipients sont généralement en cuivre et comportent des dimensions très variables atteignant plusieurs mètres en diamètre et longueur.

Si le joint est à recouvrement, les pinces de la tôle constituant la virole sont battues en chanfrein. Le plus souvent, le joint est à croisement de languettes simples ou à queue d'hironde *(fig. 19)*.

La tôle est cintrée, les pinces assemblées et maintenues pour opérer la brasure successive des différentes parties.

Pour régulariser la pièce, elle est battue, planée au marteau à panne rectangulaire dit à planer, en disposant la virole sur un mandrin ou tas de diamètre convenable fixe ou monté sur un chariot *(fig. 20)*, facilitant le déplacement de la pièce pour en présenter toute la surface à l'action du marteau en faisant tourner la virole peu à peu.

Le marteau à planer atmosphérique (type Arns) est préférable au marteau ordinaire mécanique, parce qu'il permet de faire varier rapidement l'intensité des coups à volonté par la simple manœuvre d'un robinet d'air.

Viroles soudées.

L'une des premières méthodes suivies pour la confection des viroles soudées en fer consistait à cintrer une barre de fer suivant un faible diamètre, à souder les extrémités au pilon, à laminer l'anneau au moyen d'un dégrossisseur, puis d'un finisseur (1).

Le dégrossisseur était un cylindre animé d'un mouvement de rotation alternatif et agissant dans le sens des génératrices du

---

(1) On attribue à Daelen la première idée de cette fabrication, qu'il proposa en 1859. Cependant, en 1853, le Français Rémond préconisait déjà les foyers à viroles ondulées et soudées.

Digitized by Google

manchon posé sur un mandrin cylindrique placé transversalement à l'axe du cylindre lamineur. Le mandrin possédait un déplacement alternatif de va-et-vient et un mouvement intermittent de rotation, de manière à présenter toutes les parties de l'anneau au cylindre lamineur.

Le finisseur opérait cylindriquement d'une façon continue et comprenait deux cylindres, dont l'un était emboîté par la virole, celle-ci étant supportée par des galets à écartement variable à volonté suivant la courbure. Ce procédé n'a guère reçu d'applications; la première partie du travail était trop dispendieuse. On la supprime en soudant une virole épaisse de longueur peu inférieure à celle que l'on doit obtenir et on lamine au diamètre voulu.

On préfère souvent se dispenser du laminage en confectionnant la virole avec une tôle d'épaisseur définitive dont les bords sont chanfreinés avant le cintrage et que l'on soude avec baguette de rapport ou mieux à recouvrement au marteau ou à la presse en opérant peu à peu sur toute la longueur du joint, et en ayant soin de souder d'abord le milieu et les deux extrémités garnies chacune d'une pince pour prévenir les déchirures

Afin de faciliter l'opération, la virole V *(fig. 21)* (1) est placée sur un support à traverses munies de galets qui permettent de faire tourner aisément la virole. Un foyer étant disposé au plus près, au-dessous de la pièce, on présente la partie à souder pour la chauffer; puis rapidement la virole est retournée pour opérer la soudure au moyen d'un marteau M actionné mécaniquement par vapeur, air ou eau. La virole repose également sur un tas ou mandrin cylindrique A convenablement disposé. Le chauffage au chalumeau à gaz est préférable à celui d'un foyer ordinaire; on applique aussi depuis quelques années le chauffage par un courant électrique. L'emploi du four Ronfaut paraît tout indiqué.

(1) Disposition J.-C. Johnson. Brevet du 17 mars 1881. (*Engineering*, décembre 1881.)

Digitized by Google

Cette manière de confectionner une virole peut s'appliquer à de grandes longueurs, 10^m par exemple, le diamètre correspondant à la plus grande largeur de tôle que livrent les laminoirs, soit un diamètre d'environ 1^m. Les bouilleurs des chaudières, les collecteurs de vapeur à haute pression peuvent ainsi être constitués d'une seule tôle tout en y ménageant des tubulures repoussées et y soudant les brides nécessaires aux assemblages. Avec un outillage simple, convenablement conçu, des forgerons habiles et spécialisés, nul doute que dans la plupart des éléments des chaudières, on pourrait abandonner la rivure et adopter la soudure. Il faut reconnaître cependant que, dans une soudure, il suffit de l'inattention ou de la négligence des ouvriers pour déterminer un point faible qui s'accusera plus tard par une déchirure, tandis qu'avec le rivetage, si quelques rivets ne tiennent pas, il suffit de les remplacer. La solution la plus logique est la virole sans soudure.

On emploie encore avantageusement pour le soudage des viroles la machine *(fig. 22)* (1), comprenant un tas D de forme cylindrique muni à son extrémité d'un galet E sur lequel s'appuie la pièce, le joint à souder étant disposé à la partie supérieure.

Un deuxième galet C à pourtour concave emboîte partiellement la virole sur l'étendue du joint. Ce galet reçoit l'action d'un piston hydraulique P. Ces organes sont montés sur un bras A portant aussi le tas D.

Le bras est assemblé à coulisse sur le banc B et peut se déplacer, prendre un mouvement rectiligne alternatif par l'action d'un piston hydraulique H; il s'ensuit que les galets CE se promènent, en faisant pression, sur la partie chauffée et convenablement présentée aux outils soudeurs. La virole est maintenue, pendant l'opération, contre tout déplacement anormal. La soudure se fait par parties successives sur des longueurs de $0^m,20$.

(1) Machine Stewart and J. Wotherspoon. Brevet du 10 février 1881. (*Engineering* 23 septembre 1881.)

Digitized by Google

Viroles ondulées pour foyers.

Pour confectionner une virole ondulée *(fig. 23* et *24)*, on forme d'abord, à la façon ordinaire, une virole unie soudée sur joint d'assemblage et dont le diamètre est égal au diamètre moyen de la virole après ondulation. Les ondes sont ensuite obtenues de différentes manières.

Par exemple, avec des cylindres lamineurs *(fig. 25* à *28)* (1) à cannelures qui correspondent aux ondes à obtenir. Le cylindre supérieur A tourne sans pouvoir se déplacer transversalement; le cylindre inférieur B se déplace verticalement pour produire la pression. La virole est chauffée dans un four à gaz vertical.

Pour l'introduction de la virole, emboîtant le cylindre A, le palier C de tête est en deux parties que l'on déplace par la manœuvre des volants VV' actionnant les vis de déplacement. La *figure 26* montre les parties du palier ramenées pour dégager le cylindre.

La pression est donnée au cylindre B par l'intermédiaire de leviers L et de bras de relevage actionnés par piston à vapeur ou hydraulique. La position finale détermine l'épaisseur régulière de la paroi.

Afin de supporter la virole pendant l'opération, et de la guider, deux rouleaux auxiliaires DD sont disposés de chaque côté des cylindres A et B de manière à pouvoir se rapprocher ou s'éloigner suivant le diamètre de la virole. Le déplacement de ces rouleaux est réglé par la manœuvre des volants-manivelles EE'.

Les cylindres A et B sont constitués, de préférence, par des bagues rapportées et clavetées sur l'arbre central *(fig. 28)*.

Lorsque les ondes sont hélicoïdales, les galets sont de forme

---

(1) Brevet Fox, 25 septembre 1877. (Les foyers ondulés sont fabriqués en Angleterre par The Leeds Forge C°, depuis une vingtaine d'années.)

Digitized by Google

correspondante et pendant l'opération la pièce possède un mouvement hélicoïdal.

Un modèle de machine à onduler les viroles, plus récent, est celui (*fig. 29* à *33*) (1), dans lequel le cylindre cannelé supérieur C se dégage de son support A en se déplaçant longitudinalement.

A cet effet, la cage ou support B est à chariot D guidé sur le socle de la machine. Ce chariot D est de grande longueur; il supporte sur la droite le cylindre C prolongé sous forme d'axe conique C^1 ; cette disposition contre-balance l'effet du porte-à-faux du cylindre C lorsqu'il est dégagé de son support A pour l'introduction de la virole ou pour son enlèvement.

Le déplacement du chariot D est produit par un appareil hydraulique (*fig. 33*).

Le rapprochement ou déplacement vertical du cylindre inférieur C′ est aussi obtenu par un appareil hydraulique et un mécanisme à leviers en losange. Le rapprochement pendant la marche se fait graduellement de même que le déplacement des rouleaux guidés GG placés de chaque côté, qui sont aussi ondulés afin de mieux assurer le guidage, la courbure, et éviter de fausser les ondes de la virole ou de la tôle que l'on façonne.

Étampage des ondes.

Les *figures 34* à *36* indiquent le façonnage des ondes au moyen d'étampes AB, l'une A montée sur une borne emboîtée par la virole C; l'autre étampe B est montée sur un coulisseau D actionné mécaniquement et possédant un mouvement de va-et-vient.

Pendant l'opération, la virole C est déplacée pour présenter toutes ses parties à l'action des outils.

Les étampes peuvent être placées comme *figures 38* et *39* et comprendre une boîte cylindrique B à ondes dans laquelle est placée la virole V, une étampe cylindrique extensible A formée

(1) Brevet Fox du 13 juillet 1882.

Digitized by Google

de trois segments dont l'écartement est produit par un coin C sur lequel agit une presse hydraulique. La boîte B est également en trois parties articulées pour permettre le démontage, l'enlèvement de la virole. Cette disposition convient lorsque la longueur de la virole est petite *(fig. 37)*, et comporte des brides que l'on rabat après la confection des ondes ou comprend des extrémités cylindriques et des ondes en hélice.

Les viroles sont aussi ondulées en matrice fermées et en exerçant une pression suffisante au moyen d'un fluide sous pression (1).

Dans la disposition *figure 40*, un mandrin M en trois parties occupe la partie centrale d'un cylindre C, la virole T est ajustée entre le cylindre et le mandrin de manière à former des joints étanches.

Le liquide sous pression agit à l'extérieur de la virole et reporte vers l'intérieur les parties de la tôle comprises entre les sommets et les fonds des cannelures.

Le mandrin peut être disposé comme *figure 41*, et former télescope, de manière à limiter à volonté le nombre d'ondulations, ou à produire ces ondulations à divers endroits déterminés sur une étendue plus ou moins grande.

Dans les *figures 42* et *43*, la tôle T forme joint sur ses abouts de chaque côté, et les parties du mandrin sont maintenues par un tampon conique R qui est aussi employé dans les dispositions précédentes, bien qu'il ne soit pas indiqué sur les figures.

Au lieu de réserver les ondes sur le mandrin, elles peuvent être ménagées sur le cylindre, comme *figure 44*, qui est en plusieurs parties pour permettre de retirer la pièce. Dans ce cas, le cylindre intérieur C peut être d'une seule pièce.

La pression, qui varie suivant l'épaisseur de la tôle, est estimée à environ 400^{kg} par centimètre carré, pour onduler à froid

---

(1) Brevet Hargreaves et Ingliss, 1889.

Digitized by Google

une virole de tôle d'acier doux de 1m de diamètre et de 9mm d'épaisseur.

Cette pression est beaucoup plus faible quand on opère à chaud, pour lequel cas le fluide opérant est de l'air comprimé.

Il convient que la température soit assez élevée pendant l'opération; il faut, pour cela, opérer rapidement. De plus, on introduit *(fig. 45)* à l'intérieur du cylindre un manchon métallique épais M chauffé avant son introduction, afin de prévenir une chute rapide de la température. Pour activer l'opération, les matrices sont placées sur un petit wagonnet *(fig. 46)*, qui amène l'ensemble sous le sommier d'une presse hydraulique dont le piston inférieur, se soulevant, applique le dessus de la matrice contre un manchon ou plateau assurant l'étanchéité des joints. Le tuyau D d'amenée du fluide est vivement adapté et la pression peut s'exercer.

On préfère, autant que possible, opérer à froid, ce qui exige un métal malléable, ductile, se prêtant bien aux déformations, tel que le fer fondu, l'acier doux.

Soit que l'on opère à froid ou à chaud, il importe de recuire les pièces. Les ondes sont quelquefois disposées en hélice en vue de donner plus de rigidité dans le sens longitudinal.

Viroles nervurées pour foyers.

Les viroles nervurées pour foyers de chaudières sont obtenues par laminage de tôles avec nervures *(fig. 47)*. Chaque tôle a de 6 à 11 nervures selon la longueur du foyer; la largeur de la tôle correspond à la longueur du foyer.

On ménage une surépaisseur pour les bords devant subir un bordage *(fig. 48)*.

La tôle laminée est coupée aux dimensions exactes, puis cintrée à froid au moyen de la presse hydraulique agissant sur un mandrin intérieur et une forme extérieure.

La virole est soudée en chauffant le joint au moyen d'une

Digitized by Google

puissante flamme produite par un mélange de gaz et d'air sous pression.

La soudure faite, une presse hydraulique spéciale redonne au foyer sa forme exactement cylindrique en ayant soin d'opérer à chaud; puis le foyer est bordé à la presse au moyen de mandrins de forme. (Ces foyers, du système Purves, sont adoptés depuis quelques années dans les chaudières marines. Ils sont construits par MM. John Brown et Cie, de Sheffield). La Leeds Forge Co, à Leeds, fabrique les viroles du type Morrison's qui est une variante des deux dispositions à ondulations et à nervures.

Viroles sans soudure laminées.

Les viroles de récipients, les corps de cylindres, obtenus par laminage et sans soudure ont pour ébauche un manchon coulé ou un lingot forgé et défoncé.

L'ébauche est amincie, allongée au pilon ou à la presse sur mandrin et en étampe afin de serrer le métal, particulièrement s'il s'agit d'acier.

Parfois le manchon est dégrossi sur réchauffage avec un laminoir analogue à celui pour bandages.

La pièce s'achève au laminoir finisseur tel que celui *figures 1*, 2 et 3, *planche 39* (1), comprenant : deux cylindres laminoirs FG, celui G de diamètre plus grand que F, afin que la virole V ait tendance à s'enrouler en bague; deux galets H soutiennent la pièce pendant le laminage et assurent la régularité de la courbure.

Le palier A est en deux parties pour permettre de dégager le cylindre F et de mettre en place ou d'enlever la virole.

(1) Laminoir de la Compagnie des Fonderies et Forges de Terre-Noire, La Voulte et Bessèges. Brevet du 11 août 1865. C'est vers cette époque que furent fabriquées par M. Weeb les premières viroles de chaudières sans soudure en acier doux. Leur prix de revient trop élevé les empêcha d'être préférées aux viroles rivées, ce qui est encore la raison principale contre leur adoption courante.

Digitized by Google

Lorsque le tourillon du cylindre est libre, celui-ci est maintenu par la tige d'un piston à vapeur R.

Le manchon d'acier, de cuivre ou de laiton, étant sorti du four, on l'engage entre les deux cylindres, les bras A de la cage sont refermés, le cylindre supérieur cesse d'être maintenu par le piston à vapeur R et le laminage a lieu. Pendant l'opération, le mouvement vertical des vis I est continu. Ces vis donnent la pression par le cylindre inférieur G. Elles sont actionnées par une machine spéciale conduisant l'arbre A, dont le mouvement est transmis par des engrenages intermédiaires. Il se produit ainsi la diminution d'épaisseur de la virole jusqu'à une valeur voulue, en même temps qu'une augmentation de diamètre et un faible accroissement de la longueur.

Pendant le laminage, un ouvrier maintient les galets H serrés contre la pièce, de manière à lui donner la forme circulaire. Il agit sur un volant-manivelle monté sur l'arbre K portant deux vis sans fin engrenant avec des secteurs dentés J calés sur des arbres M solidaires des bras portant les galets rouleaux H.

Les déplacements des parties A du palier de tête se font au moyen d'un piston vapeur E agissant sur une crémaillère dont le mouvement est transmis par pignons et secteurs dentés.

Les *figures 5* à *8* se rapportent aux dispositions des moules pour la coulée des lingots ou manchons.

Ces manchons pourraient être, de préférence, en acier comprimé par action centrifuge.

Laminoir à viroles. Modèle Daelen (1).

Pour laminer, régulariser les viroles de petit ou moyen diamètre à chaud ou à froid, au lieu d'employer un laminoir comprenant deux longs rouleaux principaux, M. Daelen n'emploie qu'un long rouleau A et un rouleau B de faible longueur, qui se déplace pendant l'opération.

(1) Brevet Daelen du 22 août 1884.

Digitized by Google

Le laminoir *figures 9* à *19* est pourvu d'un chariot déplaçant le cylindre A lors de la mise en place de la virole ou de son enlèvement. Le rouleau B est monté sur un chariot C *(fig. 16)* pouvant se déplacer verticalement pour produire la pression et horizontalement pour exercer cette pression successivement sur toute la surface de la virole V entraînée par la rotation des organes. De plus, de chaque côté du rouleau B sont disposés des galets H réglant la courbure. D'autres galets T *(fig. 14)* maintiennent la virole contre tout déplacement longitudinal, lequel tend à se produire sous l'action hélicoïdale du galet B dont les déplacements à gauche et à droite sont réglés à chaque fin de course.

Les *figures 20* et *21* se rapportent à un laminoir du même genre disposé avec des rouleaux verticaux. La virole repose sur des rouleaux R à axes horizontaux facilitant la rotation qui doit être rapide quand on opère à chaud.

Parfois le laminage des viroles comporte : 1° l'étirage longitudinal ou dégrossissage du lingot annulaire sur mandrin central, en se servant du laminoir ordinaire; 2° l'augmentation en diamètre au laminoir annulaire continu.

Pour l'étirage en longueur, le laminoir est disposé comme *figures 22* à *24* (1). L'ébauche *figure 25* doit être amenée à l'état *figure 25ª*. A cet effet, elle est emmanchée à haute température sur un mandrin spécial C *(fig. 26* à *29)* à parties démontables facilitant son enlèvement à la fin de l'étirage.

Le mandrin et le manchon passent dans le laminoir muni, de chaque côté de la cage, de chariots supportant le mandrin. L'un de ces chariots est muni d'un mécanisme *(fig. 30)* permettant, à chaque passage, de faire tourner angulairement le mandrin et la pièce, ce qui assure un étirage régulier. Le chariot de droite est muni d'un support mandrin, réglable à volonté en hauteur, dans la limite des épaisseurs laminées.

---

(1) Laminoir Fox. Brevet du 25 août 1879.

Digitized by Google

La pièce, étant ainsi étirée à la longueur voulue, est aussitôt réchauffée et livrée à l'action d'un deuxième laminoir à cylindres lisses qui élargissent le diamètre au degré déterminé.

En vue d'éviter l'assemblage à rivures des viroles entre elles, assurer une plus grande solidité tout en réduisant le travail de chaudronnerie, on a préconisé l'emploi de viroles sans soudure avec extrémités assemblées comme l'indiquent les *figures 1* à *8*, *planche 40* (1).

Pour relier les viroles deux à deux, on chauffe la femelle et on force le mâle à entrer à froid; la contraction produit un serrage énergique assurant l'étanchéité du joint.

Les viroles et manchons d'assemblage s'obtiennent avec leurs dentelures ou rainures au moyen des cylindres lamineurs qui présentent des empreintes convenables.

Chaque virole provient d'un manchon *(fig. 9)* passant au laminoir *(fig. 10* à *15)*. Le manchon est emmanché sur le cylindre supérieur A en déplaçant préalablement la cage S au moyen d'un piston à vapeur ou hydraulique.

Le cylindre inférieur D est mobile verticalement pour donner la pression. Les vis V sont actionnées par des engrenages recevant leur mouvement d'un moteur à vapeur spécial. Deux galets G maintiennent la virole.

En réglant l'obliquité du cylindre inférieur, on obtient des viroles coniques. Ces dispositions d'assemblage des viroles ne se sont pas répandues; elles ne présentent cependant pas des difficultés d'exécution que ne saurait vaincre économiquement l'outillage actuel de certaines forges et chaudronneries. Il suffit de citer que les ateliers de Whitworth livrent des viroles de chaudières en acier, forgées et laminées sans soudure, dont le diamètre atteint jusqu'à $3^{m},60$ sur $1^{m},50$ de longueur et $0^{m},018$ d'épaisseur. Déjà, à l'Exposition de 1878, Whitworth présentait

(1) Brevet de M. Bonniard, 12 août 1865.

Digitized by Google

une virole pour cylindre de 2^m de diamètre, 1^m,50 de longueur et 0^m,040 d'épaisseur.

On regarde comme merveille d'anneau forgé sans soudure, celui d'une dynamo de 360 kilowatts construite par la Compagnie Westinghouse à Pittsburgh, pour le Niagara.

Cet anneau-virole en acier au nickel a 3^m,50 de diamètre extérieur, 1^m,30 de hauteur, 0^m,12 d'épaisseur. Il a été forgé par la Bethleem Iron Company. On commença par couler un cylindre plein de 1^m,40 de diamètre et de 5^m de longueur ; son poids était d'environ 55^t. Le métal fut soumis à une forte pression hydraulique durant la solidification. Le lingot ainsi obtenu fut percé et un tronçon de longueur convenable fut ensuite forgé sur un mandrin à la presse hydraulique de 14.000^t. Cet anneau tourne à 250 tours par minute.

Le laminoir à viroles est aussi disposé avec cylindres à axes verticaux comme *figures 16* et *17* (1).

La virole A est placée entre les deux cylindres B et C ; le cylindre B, équilibré par un contrepoids A, se soulève en faisant pivoter le levier L dont le support portant le pivot se déplace longitudinalement en même temps que se produit le déplacement du cylindre B pour donner la pression. Ce cylindre B est ainsi convenablement maintenu et se déplace parallèlement par le jeu des cylindres hydrauliques à piston OO.

Le cylindre C reçoit le mouvement de commande par l'intermédiaire d'engrenages.

Deux galets U guident la virole et donnent la courbure. Ils se déplacent simultanément par la manœuvre d'un volant-manivelle V dont l'arbre porte des vis sans fin W engrenant avec des secteurs dentés solidaires des supports-leviers portant les galets.

La virole repose sur rouleaux animés de mouvements de rotation donnés par roues coniques.

(1) Machine à laminer de Windle, brevet du 21 octobre 1880. (*Engineering*, 10 juin 1881.)

Digitized by Google

Plaques ou parois de foyer de chaudières.

Les parois de foyer à bords relevés ou tombés se font en fer, acier, cuivre. Certains modèles ont une épaisseur de tôle uniforme, d'autres ont une épaisseur plus faible sur la moitié environ de leur hauteur dont les bords ne sont pas relevés. Dans ce dernier cas, si on suppose que la tôle a été réduite, par exemple, à une épaisseur uniforme de 32^{mm}, elle est réchauffée et réduite en un ou deux passages à 25^{mm}, puis à l'endroit où la réduction d'épaisseur doit se produire, on place successivement à chaque passage entre les cylindres du laminoir des cales d'épaisseur variable : 4^{mm}, 7^{mm}, 9^{mm}, 10^{mm}, qui ont pour effet de réduire l'épaisseur de la tôle à 15 ou 16^{mm}.

La tôle est ensuite découpée, les bords sont tracés, et si, pour faciliter le pliage des bords, on réduit l'épaisseur de ces parties, cette opération se fait au marteau-pilon, à chaud.

Réchauffée, la tôle est placée sur un tas *(fig. 18, 19* et *20)*, ayant la forme de la plaque, les bords sont tombés progressivement, par une équipe de frappeurs, à l'aide de maillets cerclés ou de marteaux à devant ; il faut ordinairement deux chaudes pour ce rabattage. Dans une troisième chaude, la pièce étant retournée *(fig. 21)*, les bords sont régularisés à la chasse à parer et au marteau à devant.

Le forgeron vérifie avec un gabarit en tôle et à la règle ; il fait rejeter le bord, en dehors ou en dedans et achève par le dressage de la paroi plane.

La pièce réchauffée est plongée dans l'eau ou est aspergée afin de la décaper si elle est en cuivre. Dans le cas de fer et d'acier doux, il convient de la recuire au four et de la laisser refroidir lentement.

Les parois régulières de forme de révolution, telles que les fonds de récipients cylindriques à bords relevés ou les plaques tubulaires, circulaires, etc., peuvent se façonner avec la machine *figures 22* à *27* (modèle Nugent).

Digitized by Google

Sur une table T est fixé sur son centre un disque E sur lequel est placé le flan à border, celui-ci maintenu sur E par une traverse D. La position du disque E est réglée de manière que le rebord ou excès de diamètre du flan puisse s'engager entre deux galets B^2 montés en porte-à-faux sur des arbres ou cylindres BB′ possédant, pendant le travail, un mouvement de rotation de sens contraire. Ces galets sont fortement serrés sur le bord de la tôle et l'entraînent en la faisant tourner avec E sur le point de fixation central.

La table T est solidaire de deux secteurs dentés S en relation avec des vis sans fin H qui les déplacent angulairement autour de tourillons qui servent d'appui et d'articulation à la table T. Il s'ensuit que la table T et, par suite, le flan à border s'inclinent et peuvent prendre la position verticale correspondant alors à un bordage de 90° obtenu progressivement. Afin de bien achever le rebord, la table T est maintenue verticale pendant plusieurs tours de la pièce. A cet effet, les vis H sont désengrenées en actionnant *(fig. 22)* le palier d'extrémité au moyen de l'excentrique *r*.

Pour maintenir la table en position, le cliquet S′ de la roue à rochet *s* est rabattu et s'oppose à la rotation de la roue N portant deux pignons engrenant avec les secteurs S munis d'une denture intérieure correspondante.

Le rebord étant achevé, les galets sont desserrés, la traverse D est abaissée et rend libre la plaque de tôle qui est enlevée. Puis dégageant le cliquet S^1 par le levier S^2 et agissant sur la pédale q^2 appliquée contre la roue N pour former frein, la table T oscille pour reprendre sa position horizontale. Le disque E doit avoir un diamètre et un bord arrondi tel qu'il serve de mandrin à la plaque. La machine doit donc comporter les mandrins qui correspondent aux divers modèles de têtes de chaudières.

La rotation graduelle et la flexion progressive du rebord, dans ce procédé de bordage, ne fatiguent pas le métal au

Digitized by Google

delà de ce qu'il convient, et ne déterminent pas de criques si le métal est de bonne qualité. La vitesse est telle, cependant, que le rebord se fait en une chaude ou en une seule opération si on opère à froid sur tôles minces.

Les figures indiquent clairement les organes de la commande en relation par une courroie avec la transmission de l'atelier. Cette machine permet de border les plaques circulaires de diamètres variables.

Signalons encore que le diamètre des arbres-cylindres BB' est renflé de manière à permettre de les utiliser à titre de laminoirs pour régulariser des bandes de métal ou des brides annulaires.

Les *figures 36* à *39* se rapportent à la disposition adoptée par M. Fox pour le bordage des plaques tubulaires à chaud (1).

Le disque est monté sur une table inclinée dont on peut régler à volonté la distance de l'axe, servant de pivot de rotation de la plaque, aux galets formant le bord ; et cela, pour régler le diamètre exact de la plaque.

Le galet inférieur tourne sans se déplacer verticalement, tandis que le galet supérieur se déplace à volonté verticalement pour faire pression et rabattre le bord peu à peu pendant la rotation du disque entraîné par les galets-bordeurs présentant la forme *figure 38*. De chaque côté sont également disposés des galets auxiliaires réglant la courbure du bord et la régularisant.

On peut border ainsi des pièces autres que celles ayant la forme circulaire entière *(fig. 30)*, ou la forme d'un secteur de cercle ; dans ce cas, les mouvements du chariot porte-pièce sont réglés à la main ou au moyen d'une came à profil convenable.

Si la paroi comporte un rebord cylindrique en pleine tôle *(fig. 28* et *29)*, celle-ci est découpée à l'endroit voulu au

(1) Brevet du 22 février 1884.

Digitized by Google

diamètre qui correspond à celui de l'ouverture à ménager, moins à peu près deux fois la hauteur du rebord; celui-ci est relevé au maillet ou au marteau sur mandrin en étendant le métal; on régularise le raccord sur un tas avec un marteau approprié.

Pour opérer mécaniquement, diverses machines sont employées. Celle de M. Nugent *(fig. 32 à 35)* comprend une table B sur laquelle s'adapte une matrice D. La tôle T placée sur D est maintenue par le mandrin D' qui s'abaisse à volonté et est serré contre la feuille. Sur un arbre vertical sont disposés quatre rouleaux P' qui tournent en même temps qu'ils s'élèvent, sertissent le rebord, le relèvent progressivement. Ces rouleaux se redressent peu à peu pendant le travail, puis passent à travers l'ouverture appliquant le rebord fortement sur le mandrin D'.

Les *figures 32* et *33* montrent les organes de commande de l'arbre des galets et ceux de la vis et de son écrou pour obtenir le monte-et-baisse de l'arbre.

L'opération terminée, la tête des galets est enlevée, le mouvement est renversé, la matrice supérieure est relevée, la plaque est enlevée.

Les galets et la tête qui les porte sont rechangeables à volonté, de même que les mandrins qui varient avec les diamètres des ouvertures. Le métal subissant de grands allongements vers le cercle d'ouverture, il importe d'opérer à chaud; si la tôle est épaisse, il faut plusieurs chaudes pour éviter des déchirures, et un métal se prêtant aux déformations. Certains fonds de chaudières marines, dont le diamètre atteint jusqu'à $5^{m},50$, sont emboutis à la presse hydraulique et les contours sont achevés à la machine à border au moyen de galets du type Nugent.

Des cisailles spéciales arasent les bords des tôles embouties, ou bien ces bords sont régularisés à la meule d'émeri.

Quand on opère à la presse hydraulique, on emploie des

Digitized by Google

mandrins appropriés permettant la formation des bords d'un seul coup ou par parties consécutives. Dans ce dernier cas, les mandrins sont en plusieurs pièces, ajustables à volonté, pour faciliter l'exécution de dimensions variables.

La presse est ordinairement verticale et comporte deux ou trois pistons *(fig. 1* et *2, pl. 41)*. Dans ce dernier type, construit par Tweddell, le piston vertical d'avant maintient la tôle sur le tas, la tête du deuxième piston vertical est armée d'un mandrin agissant par une face latérale en pliant la tôle progressivement, par descentes successives, à mesure que l'on avance la pièce. Le troisième piston, qui est horizontal, sert à régulariser le bord.

Les premières plaques de foyer embouties à la presse donnaient lieu à des criques plus nombreuses que celles embouties à la main au maillet et au marteau. Il importe d'arrondir le plus possible l'angle des bords afin d'éviter les criques; le rayon de raccord doit être au moins égal à trois fois l'épaisseur des plaques. Remarquons que, dans le rabattage au marteau, l'angle s'arrondit en s'étendant assez loin du bord, que l'on donne une chaude supplémentaire pour redresser et réduire le rayon de raccord, tandis qu'à la presse, la tôle étant fortement serrée sur le tas, l'allongement du métal par flexion ne peut se propager librement; il se localise vers la naissance du rebord, donnant ainsi plus de chances à la production de déchirures pour peu que la tôle soit épaisse et que le métal ne possède pas une ductilité suffisante.

Les presses à piston central unique ou à plusieurs pistons *(fig. 3, 4* et *5)*, montrent les dispositions de la salière et du mandrin pour l'emboutissage des plaques circulaires dont les bords sont relevés ou tombés d'un seul coup. La salière accuse un évasement prononcé afin que le relevage se fasse progressivement et que la tôle ne se plisse pas.

Le disque sort du four au rouge quelque peu gondolé. Placé sur la matrice, il est réglé en position au moyen de leviers à main.

Digitized by Google

Un premier coup de presse est donné de manière à produire une déformation peu prononcée, puis les outils s'écartent pour permettre de régler de nouveau au plus près la position de la plaque. L'opération se poursuivant, la pièce passe à travers la matrice, se dégage, reste ou non collée sur le mandrin qui, à un moment donné, bute contre la table porte-matrice qui s'élève pour régulariser la partie plane de la plaque et achever la côte ou raccord, qui peut ainsi être obtenu avec un très faible rayon (3 à 4^{cm}) même pour des épaisseurs de 20 à 25^{mm}, sans danger de criques si le métal est un fer ou acier doux très ductile.

Lorsque les tôles sont relativement minces, 6 à 7^{mm} d'épaisseur sur un diamètre de 1^{m} par exemple, l'emboutissage sur grand rebord ou sur grande flèche, cas de calottes sphériques, détermine des sinuosités ou ondulations qu'il faut faire disparaître par un réchauffage et un mandrinage supplémentaires; ou bien, on achève au marteau sur mandrin et à la chasse.

Souvent, on est conduit à faire l'opération en plusieurs fois et progressivement. Dans les fortes épaisseurs, les irrégularités sont négligeables et pour peu qu'il y ait un certain étirage, la pièce est parfaite au sortir de la presse.

On a soin de graisser la matrice avec de la graisse plombaginée, ce qui réduit le frottement, particulièrement lorsque la matrice, le mandrin et l'épaisseur du rebord présentent des dimensions qui donnent lieu à un étirage du rebord.

Parfois les diamètres ne concordent pas, à quelques centimètres près; dans ce cas, on opère d'abord à la presse pour former un rebord aussi prononcé que possible, puis la plaque est achevée sur le tas avec bons et nombreux bras.

Les plaques de 3^{m} de diamètre et plus, avec rebords jusqu'à $0^{m},20$ nécessitant un effort de 300 à 400^{t}, se font aujourd'hui couramment à la presse, d'une façon qui ne laisse rien à désirer; l'opération dure quelques minutes, les manœuvres

Digitized by Google

sont faciles; il suffit d'une seule chaude, tandis qu'en opérant au marteau à bras il faut un certain nombre de chaudes partielles et une ou deux chaudes totales pour la régularisation, qui ne saurait atteindre le degré de précision obtenu par la presse.

Il conviendrait que la chaudronnerie adoptât des dimensions commerciales constantes afin que les forges puissent réduire le nombre des matrices et mandrins et ne soient pas tenues de procéder en deux fois : à la presse et au marteau.

Lorsqu'il s'agit de l'emboutissage d'une plaque d'avant de foyer de locomotive *(fig. 7)* (1), on fait d'abord le demi-gabarit *(fig. 6)*, puis on marque l'axe vertical de la tôle à emboutir après traçage et découpage, en laissant une quantité de matière suffisante pour pouvoir dresser les champs après emboutissage; la tôle est chauffée au rouge cerise, puis placée sur le mandrin C *(fig. 8, 9* et *10)* de façon que les lignes d'axe correspondent bien. A cet effet, on a soin de percer deux trous dans la tôle qui correspondent à deux trous ménagés dans la matrice, et l'on chasse des broches dans ces trous pour maintenir la tôle dans une position aussi invariable que possible.

La matrice supérieure A est solidement boulonnée au plateau supérieur de la presse par l'intermédiaire de pièces d'écartement convenables.

La presse du modèle *figure 11*, à plateau supérieur fixe, est munie de trois plongeurs qui agissent simultanément sur le plateau inférieur, et quatre plongeurs supplémentaires agissent indépendamment des plongeurs principaux en passant par des ouvertures ménagées dans le plateau inférieur, de la presse.

Le mandrin B qui sert à emboutir la portion qui se relie au corps cylindrique est fixé au plateau inférieur et le mandrin C *(fig. 10)*, servant à faire l'embouti qui relie la tôle aux faces latérales de la boîte à feu extérieure, repose sur les plongeurs supplémentaires.

---

(1) *The Engineer*, 1892-1893. Construction de la locomotive.

Digitized by Google

On applique d'abord la pression sur les plongeurs supplémentaires, et par cette opération on produit l'embouti de pourtour. Pendant que la tôle est soumise à la pression des plongeurs précédents et que sa position est assurée, on applique la pression sur les plongeurs principaux, et par cette seconde opération le mandrin B forme l'embouti reliant la tôle au corps cylindrique.

Pour emboutir une plaque de foyer face arrière (*fig. 12* à *16*), on commence par appliquer la pression sur les plongeurs supplémentaires pour former l'embouti du trou de la porte de boîte à feu, et pendant que la tôle est maintenue par ces plongeurs, on applique la pression sur les plongeurs principaux et on forme l'embouti qui sert à relier la face arrière à la boîte à feu extérieure.

L'opération pour la plaque tubulaire de boîte à fumée (*fig. 17* à *20*) est analogue, avec la seule différence que les plongeurs supplémentaires sont appliqués seulement pour maintenir la plaque en position contre le mandrin supérieur pendant que la matrice A produit l'embouti.

Lorsque l'emboutissage est achevé et que les tôles ont pris leur retrait, on les dresse, on met les rebords bien d'équerre et on fixe les arrondis aux rayons voulus.

Les matrices sont en deux ou plusieurs pièces, parce que généralement elles s'élargissent; on peut rattraper cet agrandissement par les cales de remplissage des joints d'assemblage des parties.

De plus, les matrices ont ainsi une certaine élasticité, et si l'une des parties se brise, on la remplace plus facilement qu'un bloc entier.

Les plaques de cuivre qui ont des parties tubées reçoivent un battage à froid au pilon pour les écrouir, leur donner plus de raideur; cet écrouissage réduit ordinairement de 1^{mm} les épaisseurs comprises entre 20 et 30^{mm}.

Digitized by Google

Certaines plaques tubulaires comportent des tubulures ou brides pour assembler les tubes (1).

Ces brides *(fig. 21)* se font simultanément au moyen de mandrins-poinçons à têtes pointues *(fig. 22 et 23)*.

La plaque est placée *(fig. 22)* contre une matrice dont les ouvertures correspondent *(fig. 23)* pour obtenir la forme voulue.

Le métal est percé en même temps qu'il est embouti; les bords sont régularisés à hauteur déterminée et de manière à enlever les défectuosités dues aux bavures.

Lorsque la plaque comporte un rebord, celui-ci est formé en même temps que les tubulures, entre les mandrins de la presse.

On obtient des brides à bords plus réguliers en perçant la plaque au préalable d'un trou de diamètre égal à l'épaisseur; mais, dans ce cas, il faut opérer partiellement, à cause du chauffage, car il est assez difficile d'assurer la coïncidence exacte de tous les trous et mandrins.

Le métal doit être très ductile, sinon la plaque est ébauchée par des mandrins arrondis *(fig. 24 et 25)*.

Ces tubulures ont pour effet de renforcer les plaques tubulaires tout en permettant l'assemblage des tubes dans de meilleures conditions de tenue et d'étanchéité.

S'il s'agit d'un dôme de chaudière de locomotive et si on part d'une tôle, on forme d'abord une virole soudée dont le développement prévoit le métal des rebords pour l'assemblage avec la chaudière et que l'on obtient, après soudage de la virole, par un emboutissage. La partie supérieure du dôme est supposée munie d'un cercle cornière et fermée au moyen d'un couvercle en tôle. La tôle du dôme est découpée de manière à laisser de 15 à 20^{mm} de recouvrement pour la soudure; on y poinçonne quatre trous, un dans chaque angle, et les bords à souder sont chanfreinés fortement. La tôle est cintrée, puis on pose deux rivets dans les trous percés vers les angles, afin de bien assu-

(1) Modèle de Watt, brevet du 30 mars 1892.

Digitized by Google

jettir les recouvrements pendant la soudure. Celle-ci se fait sur une enclume spéciale *(fig. 26)*, qui montre le support S de la pièce pendant l'opération. On commence la soudure à $0^m,15$ ou $0^m,20$ de l'une des extrémités, ou l'on fait une bonne chaude suante et on soude à la chasse ronde. Les soudures partielles se font généralement en deux chaudes, parfois en trois, et pendant l'opération on a soin de tenir le diamètre aux dimensions et de veiller à ce que la virole reste cylindrique.

Il faut surveiller le chauffage avec soin, parce que le recouvrement extérieur de la tôle chauffe plus rapidement que le recouvrement intérieur, quoiqu'on ait la précaution de recouvrir ce dernier d'une tôle ou d'une tuile réfractaire.

Lorsque la virole est soudée sur toute sa longueur, on soude un morceau de fer rond en travers du joint soudé à l'endroit où le bord doit être embouti, ce qui évite toute déchirure pendant l'emboutissage. On peut, de préférence, souder à cet endroit une pince, c'est-à-dire un morceau de fer plat replié, emboîtant la paroi, soudé à cheval sur la ligne de soudure.

Le rebord embouti se fait au maillet, au marteau sur mandrin *(fig. 27 à 29)* en opérant sur un quart à la fois, partie que l'on a soin d'ajuster ou de calibrer sur la portion de surface cylindrique du mandrin qui correspond à la virole de la chaudière.

Le rebord d'appui du couvercle, rabattu sur mandrin sans difficultés, peut être obtenu par un embouti *(fig. 30)* ou par un cercle cornière rapporté et rivé. Ce cercle est cintré à chaud; les abouts sont étirés en chanfrein et la soudure est effectuée avec un coin de fer triangulaire le long des deux ailes de la cornière. L'emboutissage du couvercle en forme d'une calotte sphérique à rebords, se fait en matrices sous le pilon ou à la presse. On forme encore un tel dôme en emboutissant un flan circulaire; on opère en plusieurs chaudes, puis le bord est découpé, régularisé, pour ensuite le relever et donner la forme finale *(fig. 32)* ou celle *(fig. 33)* qui reçoit une façon complémentaire pour la tête, au tour à repousser.

Digitized by Google

Quant aux éléments intérieurs d'une boîte à feu de locomotive, ils sont en tôle de cuivre et donnent lieu à des opérations simples de dressage, de relèvement des bords au maillet et à la chasse sur mandrin ordinaire, ou mieux, avec des mandrins de dessous et de dessus si la pièce présente une partie renflée comme *figures 34*, *35* et *36*, et en utilisant la presse.

Ces exemples suffisent pour montrer les méthodes suivies dans la confection de ces pièces, qui ne diffèrent entre elles que par des points de détails particuliers, par la combinaison différente des procédés généraux de bordage, ployage, emboutissage.

Les pièces secondaires telles que collerettes, bases de tuyaux, bouchons de trous-d'homme, tubes, cuissards ordinaires, tubes Galloway, etc.., donnent lieu à des opérations analogues qui ont été indiquées dans la première partie et que nous n'avons pas à rappeler ici. Toutes ces pièces se façonnent et se montent dans les ateliers de petite ou de grosse chaudronnerie largement outillés.

Récipients soudés.

Le procédé de construction par soudure est parfois appliqué aux récipients à haute pression. Ainsi le récipient *(fig. 1, pl. 42)* est constitué par une virole cylindrique au moyen d'une tôle unique dont les bords biseautés sont soudés par recouvrement suivant les génératrices. Pour souder un fond avec la virole, l'about de celle-ci est évasé à chaud sur une longueur de $0^m,10$ environ. Le fond, embouti et découpé exactement à la dimension de l'orifice élargi de la virole, est introduit à force *(fig. 2)*, puis soudé au marteau par parties de $0^m,10$ à $0^m,15$ de développement.

Pour assurer un bon chauffage à l'intérieur, la partie à souder est recouverte d'un mélange de brique pilée et de battitures. En opérant la soudure, l'évasement disparaît.

Une telle soudure offre peu de sécurité; les fonds sont sujets

Digitized by Google

à se décoller et donnent lieu à des accidents (1). La soudure est défectueuse, le métal refoulé vers l'intérieur ne se soude pas, détermine des bourrelets *(fig. 4* et *5)* et un angle aigu qui se prête aux déchirures lorsque le fond se déforme. Le point faible est précisément à l'endroit où le métal fatigue le plus. Il est préférable d'emboutir le fond en ménageant une partie cylindrique au delà du raccord et en soudant les bords à recouvrement *(fig. 3)*. C'est également par une soudure à recouvrements chanfreinés que l'on assemble deux viroles adjacentes lorsque le récipient comporte une longueur nécessitant deux ou plusieurs viroles pour le constituer.

L'opération est délicate; le chauffage se fait au gaz dans des foyers appropriés et l'on emploie soit le marteau, soit les galets compresseurs disposés comme il a été indiqué précédemment pour le soudage suivant une génératrice.

Les récipients soudés doivent être recuits au four pour faire disparaître les tensions intérieures du métal dues aux irrégularités de la soudure et aux chaudes répétées partielles. Le procédé de soudage des éléments des récipients entre eux tend à se substituer au procédé de rivetage dans les récipients étanches contenant des liquides ou fluides qui rendent l'étanchéité difficile à obtenir, et qu'il n'est guère possible actuellement de fabriquer par emboutissage.

Ce procédé est aussi appliqué à la construction des petites et des grandes chaudières à vapeur des bateaux dont les viroles sont obtenues par laminage sans soudure longitudinale.

En Angleterre et aux États-Unis, diverses forges et ateliers de construction de chaudières sont outillés pour souder des viroles de chaudières de 2^m de diamètre, ou des récipients dont la longueur, formée de plusieurs viroles soudées en bout, atteint 8 à 10^m, l'épaisseur des parois atteignant 12, 15, 20^{mm}.

---

(1) Explosion d'une chaudière de tramway à Lyon et d'un récipient à Tours. *Annales des Mines,* tome III, 1893. Note de M. Olry, ingénieur en chef des Mines.

Digitized by Google

Rappelons que, vers 1877, M. Siemens avait construit un récipient devant résister à une pression intérieure de 70^{kg} par centimètre carré et pesant $2^t,5$, destiné à servir de réservoir d'air comprimé pour une locomotive de tramway. Il a employé de l'acier possédant une résistance à la rupture de 70^{kg} par millimètre carré avec allongement de 8 à 10 0/0 seulement. Le réservoir se composait de quatorze cercles à collets de 1^m de diamètre intérieur et de $0^m,305$ de large, laminés au moyen de lingots d'acier dans un train à bandages, et de deux calottes hémisphériques en tôle d'acier. Toutes ces pièces étaient terminées par des collets avec des gorges circulaires entre lesquelles étaient serrés des anneaux en fil de cuivre, au moyen de vingt boulons d'acier qui traversaient deux anneaux appuyés sur les collets des deux calottes hémisphériques. En serrant convenablement les boulons, les joints étaient rendus étanches et ce réservoir a pu être éprouvé à une pression de 91^{kg} par centimètre carré. On a proposé ce mode de construction pour les cylindres de presses hydrauliques, pour les chaudières marines (1).

Récipients emboutis.

Les récipients de petit et moyen diamètre, en cuivre ou laiton, en fer ou acier, s'exécutent aussi par le procédé d'emboutissage combiné avec le procédé d'étirage au mandrin-filière.

Le récipient a son fond d'une seule pièce avec la paroi cylindrique; il est ouvert d'un seul côté *(fig. 6)*. Supposons qu'il s'agisse d'un récipient ayant 3 à 4^m de longueur, $0^m,300$ à $0^m,400$ de diamètre, $0^m,007$ à $0^m,010$ d'épaisseur. On part d'un flan circulaire de 1^m à $1^m,20$ de diamètre, $0^m,060$ à $0^m,080$ d'épaisseur, découpé à chaud au poinçon. L'emboutissage et l'étirage se font au rouge cerise en six, huit ou dix opérations successives, chacune exigeant un réchauffage.

(1) *Revue universelle des Mines*, septembre et octobre 1878.

Digitized by Google

Le poids se réduit de 1/4 à 1/3 suivant le nombre de chaudes.

On emploie de puissantes presses verticales au début, puis des presses horizontales analogues à celles indiquées pour l'étirage des tuyaux sans soudure, pouvant produire des efforts de 300 à 400^t.

Pendant les premières opérations, la réduction de diamètre étant supérieure ou voisine de $0^m,020$, le métal forme des plissements qui se restreignent en donnant parfois lieu à des fissures longitudinales qui déterminent des crevasses à l'essai, lequel se fait, par exemple, pour des bouteilles à acide carbonique liquide *(fig. 7* et *8)* à des pressions atteignant 150 à 300^{kg} par centimètre carré, les pressions d'emploi s'élevant à 100^{kg}. Leur construction doit être particulièrement soignée pour éviter les explosions. Ces récipients se construisent en fer soudé, fer fondu ou en acier doux, dessus et fonds soudés ou mieux sans soudure. On préconise, avec raison, l'emploi d'un métal très ductile et résistant de manière qu'en cas d'explosion, la rupture donne lieu à des déchirures sans projection d'éclats. La longueur maximum est d'environ 2^m avec diamètre intérieur maximum d'environ $0^m,20$, l'épaisseur variant de 5 à 10^{mm}.

La construction de ces bouteilles prend une grande importance depuis quelques années, particulièrement en Allemagne, où il y en a plus de 150.000 en usage courant.

Ces bouteilles, ou les récipients analogues, se fabriquent dans d'excellentes conditions au laminoir hélicoïdal de Mannesmann avec un acier accusant une résistance de rupture de 60 à 70^{kg} par millimètre carré.

Lorsque le fond est de forme ogivale, il est terminé au marteau-pilon en étampes appropriées. Ayant subi une chaude suante et présentant ainsi une surépaisseur, il est plus solide. Il est essentiel de recuire à plusieurs reprises au rouge cerise.

Ces bouteilles sont parfois construites avec des tubes ; le fond plat, épais de 15 à 18^{mm}, est rapporté et soudé par encollage,

Digitized by Google

ce qui présente moins de garantie que le fond embouti, ou encore le fond est formé par étampage comme il a été indiqué aux tubes Field.

Ces récipients proviennent aussi de blocs pleins en acier (1).

On soumet le lingot à plusieurs étampages à chaud lui donnant les formes *figures 9, 10, 11, 12* et *13*. On recuit l'ébauche et, après décapage, elle est étirée à froid à la forme *figure 14*, la longueur étant supérieure à celle *figure 15*.

L'excès de longueur est découpé et, s'il est nécessaire, on tourne l'extrémité inférieure fermée pour l'amener à la forme finale déterminée.

Ensuite l'extrémité ouverte est restreinte à chaud pour former le goulot de la bouteille. A cet effet, la pièce est placée dans une matrice fixe *(fig. 16)* et on opère successivement avec deux ou trois matrices mobiles progressives *(fig. 17* et *18)*.

Avec ce procédé d'obtention de l'ébauche par refoulement, on évite les défauts des ébauches embouties dus aux plissements.

C'est également par ce procédé que l'on obtient, avec un métal convenable, des petits récipients cylindriques dont l'épaisseur de la paroi n'a que quelques dixièmes de millimètre; le métal s'écoule par un orifice annulaire ménagé entre la matrice et le mandrin refouleur.

Récipients avec cloison transversale (2).

Les récipients sans soudure munis d'une cloison transversale intérieure sont obtenus par emboutissage, refoulage et étirage de blocs cylindriques.

Avec une rondelle *(fig. 19)*, on commence par former *(fig. 20)* un godet avec fond épais. On place ce godet dans une matrice *(fig. 21)* et on l'appuie sur un mandrin, tandis qu'un mandrin refouleur chasse la matière du fond vers les côtés. On obtient ainsi un godet double avec fond plus mince.

(1) Brevet Cayley du 26 novembre 1891.

(2) Procédés Lorenz. Brevet du 19 octobre 1888.

Digitized by Google

Pour donner au godet double les longueurs, diamètres et épaisseurs à volonté, on le soumet à des compressions et des étirages, soit des deux côtés, soit d'un seul, à une ou à plusieurs reprises.

Ainsi les *figures* 22 et 23 représentent le godet étiré deux fois. L'opération se fait en enfonçant, au moyen de mandrins coniques, les godets dans des matrices légèrement coniques et rétrécies dans le bas; ce traitement a pour résultat de réduire le diamètre de la partie inférieure du godet qui ne se trouve pas exposée à l'action d'un mandrin intérieur; l'enveloppe de la partie supérieure, au contraire, tout en diminuant de diamètre et d'épaisseur de paroi, se trouve étirée entre le mandrin et la matrice.

Au cours de ces opérations, la cloison n'est exposée à aucune diminution d'épaisseur; elle se trouve, au contraire, refoulée par la compression, de façon à augmenter en épaisseur; de même, l'épaisseur de la paroi de la partie inférieure augmente par la compression latérale et longitudinale à un diamètre plus petit.

La *figure* 24 représente le tuyau double (*fig.* 23) étiré de l'autre côté de la même façon, avec diminution du diamètre et de l'épaisseur de la paroi inférieure, et une légère diminution de l'épaisseur de la cloison.

Les *figures* 25 et 26 montrent le tube double (*fig.* 24) étiré encore ultérieurement des deux côtés.

On peut finalement donner, à l'aide d'une compression spéciale, comme par exemple *figures* 27 et 28, toute forme voulue à la cloison.

Ces tubes ou ébauches doubles peuvent être employés ou travaillés de nouveau en vue de diverses applications. Ainsi la *figure* 28 montre un tube transformé en capsule ou récipient double, avec partie filetée, soit à la filière, soit par compression ou laminage. Dans les *figures* 29 à 31, la forme cylindrique a été modifiée, renflée ou restreinte; finalement (*fig.* 32), la

Digitized by Google

partie renflée a été rétrécie et a pris la forme d'un récipient ou vase.

Fabrication des tonneaux.

La fabrication industrielle des tonneaux métalliques est toute récente et déjà leur emploi s'est développé dans une mesure telle que des usines en confectionnent chaque jour par centaines.

Le transport du pétrole a particulièrement donné lieu aux États-Unis à la construction d'un grand nombre de tonneaux en fer ou en acier doux.

Ces fûts ont la forme traditionnelle ou la forme cylindrique *(fig. 33)*.

Dans ce dernier cas, une virole en tôle de 2 à 5^{mm} d'épaisseur, suivant les dimensions, constitue le corps de fût ou foudre. Chaque fond est plat, formé d'un vaisseau circulaire bordé et ajusté à frottement dur dans la virole qui l'emboîte, les bords relevés étant dirigés vers le dehors de manière à faciliter le riveiage, complété ou non par une soudure à l'étain en vue d'assurer une complète étanchéité.

Deux bagues à section double T obtenues par cintrage et abouts soudés, enserrent à frottement dur le corps du tonneau pour le consolider et faciliter la manutention.

Deux autres cercles à section segmentée emboîtent également le corps de tonneau vers les extrémités et consolident les pinces des rivures. Une tubulure est encore rapportée et rivée pour recevoir la bonde.

Si le fût a la forme ordinaire *(fig. 34)*, sa fabrication comprend : 1° le laminage ou formation des ondes *(fig. 35)* dans un laminoir *(fig. 36 et 37)* (1) par plusieurs passages de la pièce.

Ou mieux, le laminoir comporte quatre cylindres *(fig. 38)*, dont les deux premiers ébauchent les ondes, et les deux autres les achèvent, le tout en un seul passage.

Les tôles ainsi préparées sont cintrées pour la conformation

(1) Brevet du 12 mars 1884 à M. Legrand.

du tonneau, au moyen d'une cintreuse *(fig. 39 et 40)*, dont les rouleaux inférieurs sont munis de gorges qui concordent avec celles de la tôle et dont les profils correspondent, l'un à la forme intérieure du tonneau, l'autre au gabarit extérieur.

Après cintrage, le joint est soudé.

Les deux fonds munis de rebords emboutis sont également soudés au corps du tonneau.

Lorsque la courbure a une certaine importance, on part d'une feuille de tôle dont la longueur est telle que lorsqu'elle est augmentée par le laminage supplémentaire de forme qu'on lui fait subir dans le laminoir *(fig. 41, 42 et 43)* (1) ; elle est égale au développement du tonneau avec un surplus correspondant au recouvrement pour la soudure, tandis que la largeur est égale à la longueur du tonneau.

La feuille se lamine et se cintre à double courbure par un certain nombre de passages entre les cylindres, dont l'action principale s'exerce au milieu de manière à allonger davantage la feuille au milieu que vers les bords, ce qui détermine la forme voulue.

Le laminage de la feuille convenablement guidée se fait par mouvement alternatif des cylindres jusqu'à ce que la courbure soit à peu près complète; puis, la marche devient continue pour donner le fini et faire disparaître les ondulations qui se forment pendant la première façon ; ondulations que l'on prévient en grande partie par le serrage graduel des cylindres.

Les extrémités de la tôle envirolée sont parachevées, puis soudées. Les fonds sont rapportés comme précédemment. Pour le soudage de la virole, on applique une bande de métal au-dessus des deux bords mis en contact; on chauffe par un courant électrique; dès que le métal est soudant sur une partie on la martèle. Les fonds coupés à l'emporte-pièce sont ondulés et emboutis à la presse; ils sont présentés, un anneau de métal

(1) Laminoir Barrglough et Heaton, brevet du 31 décembre 1892.

Digitized by Google

vient cercler l'extrémité du baril, et les trois épaisseurs sont également soudées par chauffe électrique. La tubulure pour la bonde a sa surépaisseur soudée de même en ayant soin que le refroidissement se fasse lentement; à Uxbridge, en Angleterre, où cette méthode est appliquée, 240 tonneaux sont fabriqués par semaine. La dynamo a un débit de 160 ampères à 75 volts. On emploie des charbons cuivrés ou des charbons nus pour les soudures dans les coins.

Une variante consiste à constituer le fût d'une virole médiane bombée et de deux viroles extrêmes coniques rivées ou soudées et assemblées par emboîtement; les fonds sont engagés de manière à rabattre sur leurs rebords, dirigés vers le dehors, les bords saillants des viroles extrêmes que l'on soude ou que l'on rive.

Le soudage peut se faire par chauffage électrique avec un courant dont la tension est par exemple de 75 volts et l'intensité de 200 à 300 ampères.

La pièce est reliée à l'un des pôles d'une batterie d'accumulateurs; l'autre est raccordé au fer à chauffer *(fig. 44* et *45)* (1) qui porte un charbon rond, carré ou méplat suivant le genre de soudure à effectuer. Le charbon est présenté aux endroits voulus; l'arc jaillit et porte le métal à la température nécessaire; on a soin de marteler au fur et à mesure.

Pour souder les fonds, on les monte avec leurs cercles de bout et on passe le fer à chauffer sur le bord.

Cette soudure autogène remplace avantageusement le rivetage; elle assure une étanchéité absolue. Pour la réussir, il faut une certaine habileté.

Afin de réduire les chances de fuites par la suppression des joints des fonds, le fût est construit au moyen de deux éléments emboutis assemblés, sertis vers la section du milieu du tonneau.

Chaque élément provient d'une tôle circulaire dont l'épaisseur reste sensiblement constante dans les diverses transfor-

(1) Modèle Legrand, brevet du 13 septembre 1892.

Digitized by Google

mations de l'embouti, qui est obtenu en cinq ou six opérations avec mandrins de diamètres décroissants et avec une presse mécanique ordinaire si la tôle a une épaisseur de 1 à 3^{mm} et si la capacité n'excède pas 250^{l}; au-dessus, il faut recourir. à une presse hydraulique.

Après trois passages, la pièce passe dans un four à recuire.

De même, après avoir donné la forme finale avec rebords arrondis, il convient de recuire de nouveau.

L'opération suivante consiste à lisser l'ébauche sur un tour spécial, à faire disparaître les petites ondulations de l'emboutissage.

Dans le fond de l'une des parties du fût, on défonce un trou de $0^{m},10$ pour permettre le passage de l'outil sertisseur.

La paroi peut comporter des moulures ou bourrelets qui se font aussi au tour, de même que les bords à simple ou double pli pour l'assemblage des deux parties par agrafes et sertissage à une machine spéciale. On bouche ensuite le trou du fond percé au moyen d'une pièce soudée à l'étain; on rapporte les tubulures d'entonnement et de vidange que l'on soude de même.

Au lieu de sertir les deux parties, elles sont soudées en les chauffant par un courant électrique.

Cylindres et pistons.

Les cylindres soumis à des pressions élevées, tels que ceux des presses hydrauliques, exigent l'emploi de l'acier fondu forgé en virole.

L'ébauche est coulée sous forme de manchon en appliquant, avec avantage, la compression en lingotière. Réchauffée, la pièce est martelée au pilon ou étampée à la presse sur mandrin libre, en donnant au mandrin et à la pièce un mouvement de rotation intermittent pour présenter à chaque coup de l'outil

Digitized by Google

une partie différente de la pièce, dont on réduit ainsi l'épaisseur en augmentant le diamètre, la longueur variant peu. On conduit le travail de manière à ménager la collerette ou bride de pourtour, si le cylindre en comporte une comme *figure 46*.

On obtient des cylindres de grande résistance et de dimensions atteignant plusieurs mètres en longueur et diamètre, l'épaisseur pouvant varier à volonté de $0^m,10$ à $0^m,20$.

Ces fortes épaisseurs motivent l'emploi de la presse, de préférence au laminoir, ce dernier outil étant utilisé pour les épaisseurs plus faibles et les grands diamètres.

Les fonds et couvercles des grands cylindres ou de récipients analogues sont parfois constitués par des tôles embouties qui présentent plus de sécurité que ceux en fonte ou en acier coulé. Leur confection n'offre rien de particulier.

Souvent les cylindres ou pots de presses sont à fond fermé (*fig. 47* et *48*). S'ils sont de grande longueur et de petit diamètre on les étire à la manière des tubes sans soudure en partant d'un flan embouti en acier ou d'une ébauche fondue en laiton, avec culot. Ceux de gros diamètre sont forgés sur mandrin, soit au pilon, soit à la presse en dégageant à l'étampage la bride du côté du couvercle et en laissant le métal du fond en quantité suffisante pour y donner une chaude soudante. D'ailleurs, le lingot d'acier est toujours soumis à l'abatage des chutes des extrémités, dont la longueur est très réduite si on emploie le procédé de compression du métal en lingotière.

Les cylindres de grand diamètre sont aussi constitués par des viroles d'acier à bandage (*fig. 49* et *50*) assemblées entre elles par emboîtement partiel sur rainune et languette.

Ces viroles sont laminées comme des bandages à pourtour cylindrique. De tels corps de presses présentent une grande résistance et peuvent avoir une hauteur à volonté (1).

(1) C'est la construction adoptée par les établissements Cail pour les corps de presse de l'ascenseur des Fontinettes, dont la hauteur est d'envi-

Pistons et tiges de pistons.

Les pistons des machines motrices sont ordinairement exécutés en métal fondu avec tiges indépendantes en métal forgé.

Ce n'est qu'exceptionnellement. pour des pistons de fatigue soumis à de nombreux chocs répétés tels que ceux des marteaux-pilons, que la tige et le corps de piston sont d'une seule pièce en fer de ferraille de première qualité, en acier, ou en étoffe.

Pour les grandes vitesses, le corps de piston indépendant de sa tige est quelquefois aussi en métal forgé comme, par exemple, les pistons des machines de locomotives, les grands pistons des machines marines qu'il convient de construire aussi légers que possible pour réduire l'action de la force vive.

Ces pistons atteignent jusqu'à $2^m,70$ à 3^m de diamètre; ils se font en acier doux.

Les tiges pèsent jusqu'à 2.000^{kg} et plus, elles comprennent souvent une partie formant le corps de crosse ou une fourche d'attache à la crosse.

Tiges de pistons.

Les tiges simples, cylindriques sur toute leur longueur ou présentant des parties renflées aux extrémités ou au milieu *(fig. 51* à *55)* sont forgées dans un massiau de bon fer de ferraille de section suffisante pour ne pas être obligé de produire les renflements par refoulage ni par soudage de bague.

Ces tiges devant être résistantes, souples, il importe de les marteler énergiquement en les contre-forgeant, puis de les achever par un étampage modéré régularisant la surface et la forme. Une torsion modérée à chaud dirigeant les fibres en hélice prévient les rayures dues à l'action des bourrages des presse-étoupes.

ron 15^m et le diamètre 2^m. (Cet ascenseur a été installé sous la direction de M. Gruson, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur de l'Institut industriel du Nord).

Digitized by Google

Si la tige comporte un bloc de crosse *(fig. 56* et *57)*, celui-ci est ménagé dès le début du forgeage s'il n'est pas trop renflé; dans le cas contraire, la tige est soudée au bloc soit sur amorces, soit par une soudure à emboîtement qui doit être très soignée.

Il en est de même des tiges formant plongeurs de pompes *(fig. 58* et *59)* dont la tête est, soit ménagée dans la masse, soit soudée à la tige; cela dépend de l'importance de la pièce et de la sécurité qu'elle doit présenter. Lorsque les tiges sont creuses, elles sont forgées pleines, puis on les fore; ou bien, elles sont constituées par des tubes avec parties renforcées soudées. Cependant les tiges de gros diamètre (200 à 400^{mm}) sont forgées sur mandrin central après percement du lingot. Elles subissent un recuit et une trempe douce suivie du recuit. La marine adopte aussi, depuis peu, l'acier au nickel fondu au creuset afin d'assurer une grande homogénéité en même temps que des propriétés de résistance exceptionnelles.

Pistons avec tige.

Si le diamètre d'un piston solidaire de sa tige est peu différent du diamètre de celle-ci comme *figures 60* et *61*, le renflement correspondant au corps de piston peut être ménagé dans un massiau de dimensions capables, les parties de la tige étant étirées à la suite, puis étampées. On obtient ainsi une pièce présentant toute sécurité et n'ayant pas de soudure. Mais, lorsque le corps de piston est d'assez gros diamètre, on le forge séparément avec une amorce suffisante pour assurer une bonne soudure de la tige.

Si la fabrication se répète, comme par exemple pour des pistons de locomotives, on opère en matrices sur ébauches cylindriques, que l'on évide seulement d'un seul côté, ainsi que le montrent les *figures 62* à *66*.

Cependant certains grands pistons de machines marines en acier forgé présentent les formes coniques *figures 67* et *68*, obtenues sur mandrins ou matrices par forgeage au pilon ou à

Digitized by Google

la presse, en procédant par déformations progressives d'une galette. Ces pistons atteignent des diamètres de $2^m,50$ et plus et supportent des pressions de vapeur de plus de 10^{kg} par centimètre carré (1).

Les pistons de faible épaisseur sont forgés en emboutissant un vaisseau de tôle que l'on renforce, s'il y a lieu, à l'endroit de l'assemblage avec la tige *(fig. 70)*.

Le renflement d'un piston tel que celui *figure 71* peut aussi être obtenu par l'enroulement d'une bande métallique autour de la tige; l'enroulement se faisant en spirale si la hauteur est faible ou en hélices superposées ou non si la hauteur est grande. Les parties doivent être bien soudées.

Les pistons pour locomotives sont aussi creux *(fig. 73)*. Leur construction comporte le matriçage de deux moitiés *(fig. 72)* de mêmes dimensions, afin d'employer les mêmes matrices. On utilise pour la confection de ces pistons des riblons et des mises provenant de vieux bandages.

Le paquet correspond à deux moitiés; il est soudé, puis coupé pour former deux galettes que l'on réchauffe pour l'étampage avec un pilon de 3^t sous la forme *figure 72*, au moyen d'une simple rondelle qui dégage le moyeu et les rebords de pourtour.

On régularise l'ébauche au plus près au pilon. Chaque partie est ensuite tournée et ajustée de manière que les deux pièces s'emboîtent partiellement au pourtour.

L'une des moitiés est percée de deux trous d'air.

Réchauffées au blanc soudant, les deux moitiés sont soudées en matrices en quelques coups de pilon.

---

(1) Notons qu'il est très difficile d'estimer la résistance de ces pistons. D'après divers essais comparatifs que nous avons faits tout récemment sur des modèles réduits, nous avons constaté que si la résistance d'un piston à paroi plane d'épaisseur uniforme est égale à 1; celle d'un piston analogue avec rebord de pourtour est égale à 1,5; celle d'un piston-parapluie sans rebord est égale à 1,4; enfin celle d'un piston-parapluie avec rebord est égale à 2. Cette dernière forme est donc la plus rationnelle si elle est très renforcée vers le moyeu.

Digitized by Google

Armes à feu.

Les premières armes à feu furent de petit calibre, composées d'une boîte en fer forgé servant de récipient à la poudre et d'un tube dirigeant le projectile et permettant à l'action de la poudre de s'exercer pendant un certain temps.

Aux siècles derniers, les armes à main, telles que les arquebuses, puis les fusils, furent généralement construits en fer.

Les pièces d'artillerie (XIVe siècle) étaient de petit calibre, simples ou multiples en juxtaposant plusieurs canons sur un même train.

Les armes de dimensions plus fortes appelées bombardes ou canons (de *canna*, tuyau) se fabriquèrent ensuite soit en fer, soit en métal fondu et coulé, bronze ou fonte, parfois fretté de fer. C'est ainsi que des canons du calibre de 24 étaient confectionnés avec un grand nombre de mises les unes sur les autres et que le forgeron réussissait à souder sans doublures. Dès 1821, en France, on essaya de renforcer les canons de bronze par des tubes de fer et en 1833, le capitaine d'artillerie Thiéry essayait le frettage des canons en fonte de la marine.

La première tentative sérieuse de fabrication de canon en fer forgé a été faite, suivant M. Jourdan, par M. de Traadwell, professeur de mécanique aux États-Unis, qui, dit-il, comprit le premier toute l'importance de fabriquer les pièces en fer, au moyen de barres enroulées en hélice au lieu de souder ensemble des sortes de douves longitudinales comme dans les canons employés par les Anglais à la bataille de Crécy (1).

Un de ces canons fut essayé avec succès à Vincennes en 1847.

Dès 1848, MM. Petin et Gaudet exécutaient, sous la direction

(1) L'un de ces canons (Crécy, 26 août 1346), retrouvé en 1827, en mer, à l'endroit dit New Banck, est considéré comme le père de l'artillerie, et le plus vieux canon de toute l'Europe, d'après un archéologue anglais (*Register of tras*, 30 janvier 1828).

Digitized by Google

du général Morin, six pièces de siège en fer en masse sous le marteau-pilon. Le lingot plein ainsi obtenu était ensuite foré. Ils montèrent une forge anglaise pour produire des fers dits à canon. La difficulté de bien souder de grosses masses de fer composées de nombreuses mises a fait abandonner ce procédé qui ne saurait convenir que pour des petits calibres, et encore avec beaucoup de difficultés.

Vers 1852, les constructeurs anglais Nasmyth et Armstrong réussissaient la construction des gros calibres en appliquant le procédé des rubans enroulés en hélice adopté depuis longtemps (1806) pour la confection des canons de fusils.

L'âme des canons Armstrong *(fig. 3, pl. 43)* était formée par un tube de fer constitué par des barres plus ou moins épaisses, enroulées à chaud et soudées au marteau-pilon sur mandrin.

Ce tube était renforcé extérieurement par un ou plusieurs manchons de $0^m,05$ à $0^m,06$ d'épaisseur, introduits à chaud avec serrage et soudés ou non les uns aux autres.

Comme il était difficile, sinon impossible, de faire les soudures sur une grande longueur et d'enlever le mandrin autour duquel était enroulée la barre de fer, on opéra sur une série d'anneaux de largeur relativement faible, et on réunit ensuite ces tronçons bout à bout en les soudant pour obtenir un tube unique. Le fer fut ainsi mieux corroyé et ses fibres mieux disposées donnèrent de bons résultats.

A l'extérieur, le manchon qui est muni des tourillons était en fer forgé ou en acier puddlé.

Ce dernier métal fut également proposé en 1858 pour le frettage dit élastique. Les frettes étaient obtenues par enroulement en spirale et en hélice (procédé Petin et Gaudet).

Ces procédés très coûteux et de grandes manipulations de chauffage et de soudage ne donnant que peu de garanties furent abandonnés pour s'en tenir au canon d'acier fondu forgé.

Dès 1844, une des usines de Bochum, en Westphalie, cons-

Digitized by Google

truisait un canon en acier fondu martelé; en 1845, Krupp essayait à Essen un canon semblable; de même, en 1855, les Petin et Gaudet forgeaient le canon d'acier sous forme de gros blocs massifs, que plus tard, pour les fortes dimensions, on constitua également avec une âme et un nombre de frettes plus ou moins important, suivant le calibre *(fig. 1 à 5)*.

C'est en 1866 que l'usine d'Oboukhoff eut le mérite de faire l'essai de fabrication avec des aciers Martin et Bessemer pour un canon de $0^m,15$. Ce canon, composé d'un tube central, d'une série de frettes larges et minces et d'une jaquette de culasse, munie d'une fermeture du type De Bange, subit un tir d'épreuve de plus de mille coups, ce qui en assura le succès. Son tube central seul était en acier fondu au creuset; il avait été tiré d'un lingot de 3.300^{kg}.

Les frettes en Bessemer provenaient de lingots de même poids et un lingot d'acier Martin de 14.700^{kg} avait été employé pour la jaquette et la frette à tourillons.

Whitworth adopta l'acier fondu comprimé (1872) à faible teneur en carbone obtenu sur sole ou au creuset.

Enfin, on a préconisé, en ces dernières années, au Creusot et aux États-Unis, l'emploi de l'acier au chrome ou de l'acier au nickel qui possède une élasticité exceptionnelle jointe à une grande ténacité, une grande ductilité et par conséquent une grande résistance vive de rupture. Ce métal exige des soins particuliers pour le forgeage.

Canons de fusils.

Les canons de fusils étaient autrefois constitués par une bande de fer cintrée à chaud autour d'un mandrin, avec bords à recouvrement que l'on soudait; on employait ordinairement deux bandes d'épaisseur différente, l'une pour la culasse, l'autre pour la partie antérieure. Ces deux bandes étaient soudées ensemble après confection de chaque tronçon *(fig. 6)*.

Digitized by Google

Vers 1806, on adopta l'enroulement de la bande en hélice (*fig. 7*) en ménageant des recouvrements biseautés, de sorte que la soudure s'étendait suivant une hélice et non plus suivant une génératrice, ce qui augmentait beaucoup la résistance.

En vue d'obtenir un aspect final parsemé de dessins réguliers, les bandes étaient formées de lanières provenant de paquets soudés avec des mises de premier choix (*fig. 8*). Chaque lanière était tordue, puis martelée, étirée pour faire partie d'une trousse de mises carrées que l'on soudait à son tour, que l'on tordait de nouveau et que l'on étirait en bande pour l'enroulement sur mandrin animé d'un mouvement de rotation. La bande assez épaisse était enroulée sans recouvrement (*fig. 9*). On soudait au marteau sur étampes.

Pour la fabrication des bandes dites de damas, qui date de 1844, les lanières provenaient d'abord de débris de fer ou d'acier de bonne qualité. Actuellement on préfère du métal neuf donnant des barres exemptes de cendrures. Les barres sont d'abord tordues à chaud pour produire le dessin du damas, qui est plus ou moins fin, suivant la proportion de fer et d'acier, puis ensuite assemblées par deux, par trois ou par quatre, suivant la finesse, et seulement à leur extrémité. La bande est enroulée en hélice autour d'un manchon creux ou tube mince dit chemise; on soude successivement les faces de contact de la bande enroulée sans recouvrement à cause de son épaisseur relativement forte par rapport à sa largeur. Le soudage se fait par de nombreuses chaudes, puis la pièce est martelée à des températures de moins en moins élevées jusqu'à descendre à 100°.

Après blanchissage à la meule, le canon est alésé pour faire d'abord disparaître le métal provenant du manchon de soudage et dégrossir l'âme au diamètre déterminé. Il subit ensuite les opérations d'ajustage et d'assemblage mettant en jeu des opérations de forge auxiliaires.

Les canons de fusil les plus ordinaires sont ceux dits lisses,

Digitized by Google

c'est-à-dire composés uniquement d'une bande de fer d'épaisseur et de longueur convenable que l'on roule (*fig. 10*) autour d'un mandrin et que l'on soude suivant une génératrice sur des lèvres biseautées appelées *apponces*.

Le tube présente ainsi un diamètre intérieur assez petit pour nécessiter un alésage relativement important. L'extérieur est dressé, adouci à la meule.

Deux tubes destinés à un fusil double sont ajustés et reliés entre eux par deux bandes, le long desquelles on glisse un fil de cuivre rouge et un autre de laiton pour le brasage; on ligature le tout avec des fils et des coins (*fig. 11*).

Les pièces sont entourées d'une forte couche d'argile battue et qu'on laisse sécher avant d'introduire l'ensemble dans un four à braser qui chauffe le métal jusqu'au rouge cerise déterminant la fusion du cuivre.

Les canons sont retirés du four et mis à refroidir lentement dans une chambre à l'abri de l'air afin de réduire les déformations au minimum.

Après refroidissement, on redresse les pièces à la presse et elles passent au finissage.

Lorsque deux canons de fusil sont assemblés après premier tournage et polissage, on soude aux canons les loupes d'accrochage et les bandes supérieures et inférieures; l'espace vide existant entre les canons est rempli, de distance en distance, par des lames d'étain ou de cuivre.

Les canons en métal étoffé sont bronzés : on attaque le métal par un acide; le fer étant plus rongé que l'acier, il en résulte des dessins qui permettent de se rendre compte de la finessse de l'étoffe qui a servi à constituer la pièce.

On recherche un bronzage clair et transparent.

Les accessoires d'un fusil sont forgés soit à la main pour les armes de prix, soit par les procédés rapides d'étampage et de matriçage, s'ils ne sont pas en métal fondu en moules.

Les armes de dimensions réduites, telles que pistolets, revol-

Digitized by Google

vers... se fabriquent suivant les mêmes procédés que ceux adoptés pour les fusils (1).

Les canons de fusils ordinaires et ceux pour armes militaires se font actuellement en acier doux et proviennent de lingots de 150 à 180^{mm} de côté, laminés en barres carrées de 50^{m} à 60^{m}, que l'on transforme en barres rondes d'un diamètre légèrement supérieur à celui de la pièce achevée. Ces barres sont découpées en morceaux que l'on forge au martinet, puis que l'on réchauffe pour leur faire subir une trempe à l'huile suivie de recuit.

Le canon ainsi forgé est livré aux foreuses.

Le laminage hélicoïdal est appliqué très avantageusement à la confection des canons de fusils sous forme creuse obtenue directement d'un lingot plein et de profil longitudinal conique avec épaisseur variable à volonté. La disposition des fibres en hélices de pas différents assure une résistance exceptionnelle (2) à cette partie de l'arme.

M. Meixner (3) a proposé de fabriquer le canon de fusil en emboîtant les uns dans les autres, puis en les soudant ensemble, des manchons de fer ou d'acier doux, en nombre suffisant pour obtenir la longueur voulue. Ces manchons *(fig. 12)* ont une forme tronconique à diamètres décroissants ou non; ils proviennent de l'emboutissage de plaques circulaires et ils sont montés sur un mandrin pour le soudage.

Après cette opération, l'ébauche est passée au laminoir pour réduire la section et mettre à longueur le canon auquel on donne pour extrémité postérieure ou de plus grand diamètre, celle vers laquelle, avant la soudure, étaient tournées les

---

(1) Les centres principaux de fabrication des fusils de chasse sont Paris et Saint-Étienne, dont la réputation date du commencement du XVIe siècle, et ce n'est qu'au XVIIIe siècle que la Belgique et l'Angleterre ont commencé à acquérir quelque renommée. Aujourd'hui les armuriers de Londres et de Birmingham, ceux de Liége également, donnent des produits qui rivalisent avec les armes françaises.

(2) Les usines de Mannesmann fabriquent avec le laminoir hélicoïdal les canons de fusil pour l'armée allemande.

(3) Brevet du 7 avril 1891.

Digitized by Google

grandes bases des manchons, ce qui a pour effet d'empêcher que des éclats puissent se détacher de l'âme.

On peut produire sur les canons obtenus par ce procédé des damasquinures quelconques en prenant des manchons de différentes espèces de fer ou d'acier, ou de métal à damasquiner convenablement choisi tel que fil de fer ou fer plat.

Les canons de fusils se font encore au moyen de rondins creux en acier comprimé à l'état liquide, que l'on réchauffe et qu'on lamine avec des cylindres excentrés pour obtenir la forme conique.

Ces rondins ont $0^m,06$ de diamètre sur $0^m,20$ de hauteur moyenne.

Le laminage se fait en plusieurs passages dans des cannelures décroissantes *(fig. 13* et *14)*.

Le laminage permet seul la production rapide qui s'impose, lorsqu'un État transforme son armement par l'adoption d'un nouveau modèle de fusil.

Les usines ont à fournir jusqu'à 100.000 pièces par mois.

Le laminage se fait aussi sur mandrin fixe B *(fig. 15 à 19)* (1). L'ébauche *(fig. 18)*, chauffée, enfilée sur un premier mandrin, est présentée à la première cannelure par le gros bout. Le mandrin reste fixe, le canon s'étire en glissant. On opère de même pour les autres cannelures avec des mandrins de diamètres décroissants. Le petit ergot portant la cheminée s'obtient de laminage. Le laminage au mandrin détermine un écrouissage prononcé favorable à la résistance du métal.

Corps de canons à air comprimé (2).

Les corps de canons ou tubes directeurs pour appareils à lancer des projectiles par la puissance de l'air comprimé ou de

(1) Brevet Chol du 2 février 1865.

(2) Brevet Robinson et Reynolds, 11 février 1890.

Digitized by Google

tout autre gaz non enflammé sont relativement légers et sont construits en enroulant en hélice de minces bandes d'acier ou autre métal, réunies entre elles par une soudure ou brasure avec métal flexible *(fig. 20)*. En enroulant des rubans en un certain nombre de couches, avec les extrémités convenablement appliquées et maintenues à des pièces de bout convenablement étamées, on obtient des canons assez forts et très légers, de manière à remplir toutes les conditions auxquelles ces engins sont soumis.

Il faut que les bouts soient particulièrement fortifiés. Ils sont formés de pièces en acier doux étamé obtenues par emboutissage *(fig. 21)*.

Les extrémités de la partie du ruban enroulé sont équarries et aboutées contre des retraits ou épaulements correspondants sur les pièces de bout. Celles-ci recouvrent l'extérieur de la partie enroulée et sont fortement soudées.

Les pièces de bout sont recouvertes d'étain et elles sont également pourvues à l'intérieur d'évidements annulaires remplis de soudure.

Pour appliquer les parties l'une sur l'autre, on adapte fortement le corps principal composé de rubans hélicoïdaux bien posés l'un sur l'autre et soudés au préalable à l'intérieur d'une des pièces de bout; on fait chauffer cette dernière à l'aide de becs de gaz, tout en maintenant froid l'intérieur du corps principal.

Dans ces conditions, on élève la température de la pièce de bout jusqu'à ce que la soudure dans les évidements soit fondue. On maintient la pièce avec son axe disposé verticalement, et la soudure coule de chacun des évidements.

Le corps de canon est composé de rubans en acier enroulés à l'aide d'une machine spéciale autour d'un mandrin, déterminant exactement les portions des rubans enroulés bord à bord. On étame le tout et on le réunit solidement par la soudure.

Le réservoir à air comprimé *(fig. 22* et *23)* desservant le

Digitized by Google

canon pneumatique est construit d'une façon analogue, de même que les projectiles creux (*fig. 24* et *25*) dont la partie cylindrique est séparée en trois chambres avec parois d'épaisseur variable.

Aux points où les diverses longueurs se rejoignent sont disposées des cloisons transversales vissées. Les couches intérieure et extérieure de rubans sont en laiton.

Le projectile tourne rapidement pendant son trajet; il est important qu'il soit équilibré, non seulement dans sa longueur, mais aussi autour de son axe.

Dans la confection, on équilibre chacune des diverses portions de la pièce séparément, en ajoutant de la soudure à l'intérieur et en modifiant, à volonté, de toute autre manière quelconque, les extrémités.

Le projectile a alors ce que l'on appelle un *équilibre courant*. chaque partie étant équilibrée indépendamment des autres.

Une usine de New-York fabrique des canons à dynamite ou tubes d'acier de 15^{m} de longueur et de $0^{m},40$ de diamètre, dont les projectiles, longs de $3^{m},30$, sont lancés, au moyen de l'air comprimé à 160^{kg}, par centimètre carré. Les obus les plus volumineux portent 250^{kg} de dynamite.

Canons en acier.

Les canons en acier comprennent comme pièces principales de forge : un tube canon ou partie centrale dirigeant le projectile; une ou plusieurs frettes dont celle de plus gros diamètre est à tourillons pour constituer l'axe d'oscillation du canon. Celle de plus petit diamètre est dite jaquette de culasse. Le métal est ordinairement fondu dans un four Martin Siemens (1). Coulé dans une lingotière conique ou pyra-

(1) Le métal à canon présente les caractéristiques :
R = 60 à 75 A = 25 à 12
Métal à canon des forges de Bethléem :
R = 80 à 100 A = 10 à 5
Acier-nickel pour canons :
R = 62 à 68 A = 24 à 18

Digitized by Google

midale octogone, l'acier est ou non soumis à la compression à l'état liquide. Les lingots sont de préférence coniques pour prévenir les plans de moindre résistance qui se forment au refroidissement dans les moules polygonaux.

Après refroidissement partiel, le lingot, retiré de la lingotière est porté dans un puits de refroidissement lent. Parfois, avant de le laisser refroidir entièrement, on abat de suite les chutes des abouts dont l'homogénéité laisse toujours à désirer si le métal n'a pas été comprimé.

Les chutes varient de 4 à 6 0/0 au pied du lingot et de 25 à 35 0/0 de son poids, à la tête; elles sont abattues à la tranche ou à la scie avant le réchauffage pour la mise en œuvre, le lingot est visité, des éprouvettes sont prises pour essais; les pailles, les criques sont enlevées. De plus, s'il existe des piqûres superficielles, les lingots de forme conique sont portés au tour pour faire disparaître ces défauts en enlevant une certaine épaisseur de métal. Si le lingot est octogone, il se prête moins bien à cet enlèvement; souvent les arêtes présentent de nombreuses soufflures. On est conduit à abattre les arêtes si l'on veut éviter les lignes qui apparaissent au tournage. Il en est de même des lingots à section carrée.

Dans un même lingot on prélève soit plusieurs tubes d'âme, soit un tube et plusieurs frettes, soit simplement un tube s'il est de fort calibre. Dans ce cas le poids du lingot est ordinairement le double du poids de la pièce brute de forge.

On étire de manière que la culasse se trouve du côté du fond du lingot en réservant le métal plus dur de la partie supérieure pour la volée.

On cite comme plus gros lingots ceux pesant 120^t coulés dans des lingotières de 50^t et dont les dimensions sont : $2^m \times 1^m,70 \times 4^m$. Un tel lingot comprend : masselotte 25.000^{kg}, pied 5.000^{kg}, partie utile 90.000^{kg}.

Un lingot d'un poids total de 70.000^{kg} comporte : masselotte 15.000^{kg}, pied 3.000^{kg}, partie utile 52.000^{kg}; on le coule dans

Digitized by Google

une lingotière pesant 32.000^{kg}; dimensions : 1^{m},70 × 1^{m},50 × 3^{m},50.

Compression des lingots.

Dès le début de la fabrication des canons en acier, la compression énergique des lingots fut préconisée. En 1885, l'ingénieur Tchernoff avait proposé la compression au gaz, mais après de nombreuses expériences on fut amené en 1887, à l'usine d'Obouskoff, à donner la préférence au procédé hydraulique de Whitworth développant sur les plus gros lingots un effort de 4 à 5^{kg} par millimètre carré (1). Selon la section, l'accumulateur est chargé proportionnellement. Le tassement dû au piston compresseur est en moyenne de 0^{m},40 à 0^{m},50 sur les lingots de 5 à 6^{m} de hauteur.

La compression au gaz est appliquée dans les usines de Barrow, Easton, Bolton et autres en Angleterre; à l'usine Edgar Tomson de Pittsburg, en Amérique. On attribue à cette compression une bonne répartition dans toute la masse de métal, sans exclusion des parties encore liquides, et une plus grande garantie contre la porosité de retrait.

Les lingots comprimés peuvent ne subir qu'une chute de un dixième du poids total au sommet. Ils sont toujours de forme tronconique ou cylindrique, coulés dans des lingotières dont les divers éléments superposés ont environ 1^{m} de hauteur.

Les tranches avoisinant le sommet servent à la fabrication des frettes et les tranches inférieures à celle des tubes intérieurs.

Dans ces conditions, on a le grand avantage de ne subir qu'une perte de métal beaucoup moindre que dans le procédé ordinaire, qui exige des lingots de départ plus lourds afin de pouvoir prendre la pièce dans la partie la plus saine qui correspond à environ 50 à 60 0/0 du volume total.

Un tube de canon est une pièce simple, mais dont le forgeage

(1) Le Creusot applique aussi la pression hydraulique aux lingots dont les diamètres varient de 0^{m},500 à 1^{m},30 avec longueurs de 4 à 6^{m}.

Digitized by Google

devient néanmoins d'autant plus important qu'elle est plus lourde.

Le lingot plein est étiré par martelage ou pressage énergique correspondant à un rapport d'étirage variant de 3 à 5, assurant au métal un grain serré, les qualités de ténacité et de ductilité nécessaires. Le martelage est encore le plus souvent préféré au pressage, parce qu'on obtient un métal plus dense. Cependant avec des aciers plus ou moins ductiles à haute température, la presse s'impose (1).

L'étirage a lieu sur section octogonale pour les fortes dimensions, sous section carrée pour les petites pièces; on rétablit la section circulaire en étampes tout en donnant à l'ébauche le profil approché de celui de tournage. Le corroyage d'un tube exige un nombre de chaudes variable avec les dimensions. On a soin de ne forger qu'entre les températures de 700 à 1100° et exceptionnellement 1200°. La perte de métal au feu est estimée à 8 0/0.

Un canon de 150^{mm} comporte, par exemple : un lingot de 0^{m},75 à 0^{m},80 de diamètre, 1^{m},40 de longueur, percé d'un trou de 0^{m},30 de diamètre et de 0^{m},90 de longueur; son poids est de 6.800^{kg}. Le lingot refroidi lentement, puis vérifié, ébarbé, est chauffé pendant vingt-quatre heures pour subir un premier martelage à un pilon de 40 à 50^{t}; après un réchauffage de dix-huit heures, il est pilonné à une section octogonale de 0^{m},45 de côté.

Après refroidissement, sa surface est visitée de nouveau. Le réchauffage et le forgeage se continuent ensuite jusqu'à réduction aux cotes voulues. Il faut environ de dix à douze chaudes et un pilonnage de douze heures. Lorsque la pièce devient trop longue pour être placée entièrement dans le four, on ne la chauffe que par parties. Les dimensions définitives doivent per-

(1) Vickers opère à la presse de 2500^{t} sur des lingots octogonaux jusqu'à 4^{m},20 de longueur, que l'on perce et que l'on forge sur mandrins creux de 0,^{m}380 à 0^{m},50 de diamètre avec circulation d'eau.

Digitized by Google

mettre de parer, à l'usinage, au gauchissement provenant de la trempe et du recuit. Les diamètres diffèrent des cotes d'achèvement d'environ 50 à 80^{mm}.

La pièce subit un premier recuit pour faire disparaître les tensions intérieures dues au travail et aux réchauffages partiels. Le recuit est poussé lentement jusqu'au rouge cerise avec de grandes précautions pour obtenir un chauffage régulier. La pièce est refroidie dans le four ou bien elle est enlevée et recouverte de cendres en assez forte épaisseur.

Après avoir prélevé à chaque extrémité de l'ébauche une rondelle pour y découper des éprouvettes d'essai, elle est forée et tournée à 10^{mm} près des diamètres définitifs.

Le forage est fait par une saignée annulaire de manière à laisser la partie centrale intacte pour être utilisée à la confection d'éprouvettes et aussi afin de constater s'il n'existe pas de défauts. De plus, l'opération est moins onéreuse.

Le dégrossissage d'ajustage est suivi d'un nouveau recuit très efficace par suite de la forme tubulaire, puis le tube reçoit la chaude convenable à une première trempe à l'huile.

Le chauffage se fait dans un four vertical chauffé au gaz; on suspend le tube et on lui imprime un mouvement hélicoïdal qui assure une chauffe bien uniforme et, qui prévient autant que possible les déformations. Un tel four peut avoir 15^{m} de hauteur.

On a soin d'opérer aussi des recuits et des trempes successives, qui correspondent aux opérations en vue, sur les éprouvettes d'essai, ce qui permet de reconnaître les températures les plus favorables et les degrés de trempe à donner au métal.

Le tube chauffé au point voulu est rapidement plongé dans le bain de trempe au moyen d'un appareil de levage.

Les puits contenant le liquide ont jusqu'à 40^{m} de profondeur pour les tubes de gros calibre, avec un volume d'huile de 60^{m^3}.

On admet qu'il faut deux ou trois trempes à différentes tem-

Digitized by Google

pératures pour que les aciers doux à canons acquièrent les meilleures conditions moléculaires (1).

Lorsque la trempe a déterminé des déformations prononcées qui s'accusent par des flexions, on redresse la pièce en la chauffant modérément et en la soumettant à l'action d'une presse ou d'un pilon.

Le poids définitif d'un tube canon fait ressortir un grand déchet. Ainsi *(fig. 26 et 27)* un tube pour canon de $0^m,32$ de 36 calibres de longueur a été pris dans un lingot de 80.000^{kg}.

Le poids de la pièce brute de forge était. . . . 40.000^{kg}.

Le poids de la pièce forée et dégrossie . . . . 25.000^{kg}.

Un petit canon de 65^{mm} *(fig. 28)* peut accuser un poids brut de forge de. . . . . 280^{kg}.

Foré et dégrossi, le poids est . . . . 100^{kg}.

Le forgeage d'une jaquette de culasse peut comprendre les opérations suivantes en ce qui concerne un calibre de $0^m,20$.

Le lingot est soumis dans son moule à la compression progressive d'une presse pendant trois heures et demie; la pression totale est poussée jusqu'à 4.500^t, soit 8^{kg} par millimètre carré.

Par la compression, le lingot est raccourci de $0^m,210$. On le retire de la lingotière au bout de vingt-quatre heures. Son diamètre maximum est de $0^m,880$; son diamètre minimum : $0^m,860$; sa longueur $1^m,80$; son poids 8.000^{kg}. Après refroidissement, le lingot est foré de part en part d'un trou de $0^m,180$ et ainsi préparé il est porté au four à réchauffer pour, pendant vingt-quatre heures, obtenir graduellement la température du

(1) Un acier à canon de composition : C = 0,28, Mg = 0,35, Si = 0,05 Ph = 0,005, donne les éléments de résistance suivants :

	LIMITE D'ÉLASTICITÉ	CHARGE DE RUPTURE	ALLONGEMENT SUR 100
Recuit après forgeage.	17,5	32,2	25,4
Trempé à 900° C . . .	46,2	81	15
— 700°	32	62	20
— 600° . .	26	56	27

Digitized by Google

jaune clair. Le forage du lingot a pour but d'enlever la plus grande partie du métal poreux et de permettre le forgeage sur mandrin de diamètre correspondant à celui du trou.

La pièce est présentée à un pilon de 50t pour subir un premier martelage en commençant par le milieu du lingot qu'on réduit en prisme octogonal en dirigeant les coups vers ses deux extrémités.

Le réchauffage ultérieur se fait sans retirer le mandrin et peut avoir une durée de quinze à dix-huit heures.

Le martelage général s'effectue en trois chaudes variant du jaune clair à l'orangé clair. Dans une ou deux chaudes à température un peu moins élevée, la pièce est étampée, remise au rond, parée en projetant de l'eau sur les outils.

L'ébauche ainsi forgée pèse environ 7.000kg; elle a 3m,30 de longueur; ses diamètres mesurent 0m,690 au renflement du verrou de fermeture; 0m,520 au milieu de la longueur; 0m,45 à la jonction avec le tube du canon.

La pièce alésée et tournée aux dimensions approchées subit le recuit et la trempe.

Une jaquette pour gros canon de 330 a pour diamètre extérieur 0m,970; diamètre intérieur 0m,600; longueur 5m,20; poids 25.000kg.

Le tube d'une telle pièce a une longueur de 12m; son poids est de 27.000kg (1).

Les divers éléments des canons subissent des trempes et des recuits répétés.

Une première trempe est faite à haute température, 900 à 1000° C.; la deuxième est faite entre 600 et 700°; la troisième et souvent dernière a lieu entre 500 et 600°.

Le bain de trempe comporte ordinairement un volume d'huile dont le poids égale dix à douze fois celui de la pièce.

(1) Le plus gros canon construit tout dernièrement et livré au gouvernement des États-Unis pèse 126t. Il a 15m de longueur, 1m,50 de diamètre à la culasse, calibre de 0m,48. Le projectile pèse 1.200kg. La charge comporte 500kg de poudre. Le prix de ce canon est de 625.000 francs.

Digitized by Google

Ces trempes et recuits successifs améliorent la qualité de l'acier, lui donnent plus d'homogénéité, plus de ténacité, de ductilité, d'élasticité.

La trempe se fait aussi à l'eau chaude dans un volume en rapport déterminé avec le poids de la pièce, de manière à ne pas donner une trempe trop forte qui donnerait lieu à des déformations, des tensions anormales, des tapures, félures ou autres défauts.

On préconise aussi la trempe au plomb dont l'avantage consisterait surtout en ce que le recuit est alors inutile.

La glycérine additionnée d'eau donnerait aussi de bons résultats.

A cause de son point d'ébullition élevé (300°), l'huile a le grand avantage de donner une trempe modérée très uniforme, quelle que soit la température du bain, lorsqu'elle s'élève pendant l'opération. Cette élévation ne nuit pas à l'action que l'on recherche tant que la vaporisation du liquide n'a pas lieu. C'est pourquoi, malgré le prix de revient plus élevé que celui d'un bain d'eau, on préfère un bain d'huile. L'opération, toujours délicate, présente aussi plus de sécurité contre les tapures avec l'huile qu'avec l'eau.

Des essais montrent encore qu'une double trempe est plus efficace que deux trempes sur recuit à haute température, c'est-à-dire qu'il est préférable de tremper rapidement la pièce dans le bain, puis de la retirer pour de nouveau, après nouvelle distribution de la chaleur interne, la refroidir définitivement dans le bain.

Un autre procédé consiste à faire passer un courant d'huile à l'intérieur du tube de manière à resserrer d'abord la couche interne qui développe ainsi des tensions du dehors en dedans et entraîne le métal extérieur (1). Celui-ci, se contractant ensuite par refroidissement, détermine un surcroît de compression ini-

(1) Procédé employé aux aciéries de Saint-Étienne.

Digitized by Google

tiale dans les couches intérieures, qui possèdent alors un état plus favorable pour bien résister aux pressions de tir qui sont actuellement limitées entre 20 et 25^{kg} par millimètre carré.

Ce procédé s'applique également aux diverses frettes. En vue d'augmenter l'effet de la trempe partielle intérieure, on réchauffe parfois la partie extérieure pendant le refroidissement à l'eau, de l'intérieur. Ce procédé s'applique particulièrement aux canons en acier coulé (1).

Une autre méthode (2) consiste, après la fabrication proprement dite du canon, à le placer verticalement dans un four spécial, où il reçoit un mouvement lent de rotation autour de son axe, tandis qu'on fait passer un courant de gaz d'éclairage à travers l'âme. Il se produit alors une sorte de cémentation, le carbone du gaz se combine partiellement à l'acier sous l'action de la chaleur. Quand le canon est chauffé au rouge, le courant de gaz est supprimé et remplacé par un courant d'huile froide sous pression. Il se produit alors les effets de contraction en deux phases qui mettent les parties intérieures dans un état de compression.

Frettes à canons en acier fondu.

Une frette en acier fondu provient d'un lingot plein, d'un tube ou d'un manchon creux, suivant qu'elle est longue ou courte.

Si le lingot est plein, l'étirage se fait sur section octogonale, puis un étampage rétablit la section circulaire. Les opérations ultérieures sont analogues à celles de la confection du tube de culasse.

Lorsqu'on part d'un manchon, la pièce est étirée, étampée sur mandrin, au pilon ou à la presse. Ou encore, les frettes courtes sont découpées dans un lingot plein ébauché, régula-

(1) Procédé du major Rodman, employé aux États-Unis pour augmenter la résistance des canons en fonte.

(2) Procédé Maxim.

Digitized by Google

risé, étampé grossièrement et que l'on tronçonne à froid au tour, en laissant une partie centrale qui est cassée pour apprécier la texture.

Les lingots pour frettes courtes subissent une chute de 30 0/0, le reste est sectionné en trois ou quatre pièces. Réchauffée, l'ébauche est aplatie au pilon, puis percée à froid pour enlever le métal poreux et vérifier le centre; le trou est agrandi à chaud sur bigorne au pilon. La frette est mise aux dimensions déterminées; ou bien elle est achevée au mandrin ou au laminoir. Le modèle de laminoir à bandages convient pour les frettes de petite largeur; pour les autres, on peut utiliser un laminoir à viroles sans soudure, du type Fox.

La frette est ensuite recuite, puis trempée à l'eau ou à l'huile en se basant sur les éprouvettes d'essai qui ont été prélevées et qui ont subi ces opérations une ou plusieurs fois si le métal l'exige.

Les frettes reconnues exemptes de défauts et satisfaisant aux conditions imposées, sont terminées à l'ajustage aux dimensions d'emmanchement sur le corps de canon ou sur le rang de frettage correspondant. L'emmanchement se fait à chaud; la jaquette est emmanchée verticalement; les frettes sont montées soit horizontalement, soit verticalement; le refroidissement est activé par jet d'eau en commençant, pour les frettes du côté de la tranche, près de la frette déjà mise en place.

Pour une frette à tourillons, on prend un lingot forgé *(fig. 29)*. A chacun des bouts, on ébauche un tourillon; puis, à froid, dans la partie devant former l'anneau, est pratiquée, à la mortaiseuse, une mortaise d'environ $0^{m},05$ de largeur.

La pièce étant chauffée, les parois de la mortaise sont écartées progressivement par des mandrins chassés au pilon et dont les derniers ont une forme conique et cylindrique (1).

(1) Ce procédé a été breveté par MM. Schneider et Cie du Creusot. Voir *Génie civil* du 6 juillet 1889 : *Les Industries maritimes du Creusot*, par E. Weyl.

Digitized by Google

Les dernières opérations de forgeage consistent à étamper l'extérieur sur mandrin, à régulariser les tourillons et leurs collets de raccord avec la partie annulaire.

De même que les frettes simples, celles à tourillons subissent des recuits et des trempes répétés.

Les frettes simples ou à tourillons sont aussi obtenues par compression du métal liquide dans une lingotière formant moule.

La *figure 29* (1) représente la coupe de la lingotière d'une frette ordinaire, préparée à recevoir le métal qui se déverse d'une poche sur vagonnet.

La lingotière se remplit, le métal enveloppant le noyau métallique C, fait en trois pièces formant couvre-joint entre elles *(fig. 31)*. L'orifice de coulée est fermé par un obturateur D puis le mouton E agit sur le mandrin F, qui a, ainsi que le noyau, le cône voulu pour forger et repousser le noyau C, qui s'agrandit au fur et à mesure que l'on pilonne. Le métal étant emprisonné est fortement resserré, on obtient une ébauche de dimensions voisines de celles définitives ; ou, si l'on juge de l'achever au laminoir, on laisse une surépaisseur. La pièce peut être livrée au laminoir dès sa sortie de la lingotière, ou bien, elle est réchauffée à la température jugée la plus convenable pour subir le laminage ou l'étampage si on opère l'achèvement au pilon ou à la presse.

Pour faciliter le démoulage, le mandrin F est enfoncé à travers la lingotière et tombe dans la javotte H.

Pour les frettes a tourillons, la lingotière présente les dispositions *figures 30* à *32*.

Le pilon E enfonce simultanément le mandrin F et les coins GG′ qui actionnent des mandrins K et K′ comprimant les abouts des tourillons de la frette, alors que le mandrin F force sur le moyeu C comprimant la partie centrale annulaire.

---

(1) Brevet Buisset du 30 avril 1887.

Digitized by Google

Les coins, de même que le mandrin, traversent la lingotière pour tomber dans la javotte H.

La lingotière est en deux parties que l'on réunit par des frettes. Les coins, au début de l'opération, sont retenus en place par des chevillettes en bois qui cèdent au coup de mouton ; les tampons KK' sont appliqués contre les clavettes.

De même, le mandrin F est maintenu pendant la coulée par des chevilles de bois.

Toutes les parties de la lingotière en contact avec le métal sont passées au noir de fonderie.

Il suffit de quelques minutes (4 à 5) pour couler et comprimer une frette, de sorte que le métal est à température élevée permettant de lui donner un complément de forgeage ou de lui faire subir une trempe en vue d'améliorer sa qualité.

Canon à bandes enroulées.

MM. Wilson et Sample, de Newcastle, ont proposé la construction d'un canon avec bandes enroulées autour du tube central, comme l'indiquent les *figures 33* et *34* (1).

La face extérieure du tube A est tournée de manière que la bande métallique B s'applique exactement suivant sa forme à double trapèze, la bande s'adaptant sur chaque épaisseur, ainsi que le montre la *figure 34*, jusqu'à ce que l'épaisseur totale soit atteinte.

Une frette C est disposée à étagement pour recevoir les abouts des diverses épaisseurs de bande. De même le tube ou frette extérieure D et la frette E sont forgées et tournées pour s'adapter à la forme de l'enroulement. Ces frettes sont posées à chaud de façon à déterminer par la contraction un serrage énergique maintenant toutes les parties enroulées. Ou bien, la bande enroulée extérieurement est lisse sur sa face de pourtour, ce qui facilite l'exécution de la frette D.

---

(1) *Engineering*, 22 janvier 1866.

Digitized by Google

La plupart des canons de chez Vickers, à Sheffield, sont armés de rubans d'acier. Sur un tube de $0^m,300$, on enroule 190^{km} de ruban de $0^m,006$ de large pesant 13 tonnes et demie en 14 couches à la gueule et 75 à la culasse, avec une tension variable d'une couche à l'autre. On frette ensuite sur cet enroulement.

Au lieu d'une bande, on a employé aussi du fil d'acier sous tension (1) et sur une certaine épaisseur. Toutes les spires sont brasées pour former une masse continue.

En vue d'augmenter la solidité des canons, M. Mannesmann a proposé de les constituer par des tubes de moindre épaisseur que celle ordinairement adoptée (2).

Ces tubes, de préférence obtenus par le laminage hélicoïdal possédant des fibres en couches hélicoïdales, sont glissés les uns dans les autres, de façon qu'un tube à fibre spiré à gauche suive toujours un tube à fibre spiré à droite.

Ces tubes sont ensuite soudés ou réunis ensemble par le forgeage ultérieur à l'état chaud, soit par laminage, martelage, pressage, etc., donnant au canon la forme voulue.

Le déplacement relatif des tubes est empêché, non seulement par le frottement, mais encore par des saillies réciproques, ou par des fils enroulés pénétrant pendant le traitement, dans les parois adjacentes.

Par exemple (*fig. 35*), entre les divers tubes et avant leur emmanchement à frottement modéré, sont disposés des fils enroulés en hélice qui s'engagent dans le métal forgé (*fig. 36*).

Le forgeage s'effectue sur un mandrin M que l'on a soin de garnir d'une couche de matière réfractaire permettant d'enlever la pièce facilement après le travail.

---

(1) Le premier canon entouré de fil a été construit aux États-Unis, en 1862, à l'arsenal de Washington, par M. Woodbridge. Il a été préconisé vers la même époque en Angleterre par M. Longridge et par le capitaine Schulz en France. Le nouveau cuirassé anglais le *Majestic* a ses canons frettés en fil d'acier.

(2) Brevet du 13 juin 1890.

Digitized by Google

On peut aussi faire emploi d'un noyau plein soudé *(fig. 37)* que l'on perfore pour former l'âme du canon.

Les *figures 38* et *39* montrent les dispositions avec saillies de de liaison sur les tubes emboîtés.

Lorsqu'il s'agit de laminer le canon sur un mandrin M *(fig. 38)*, il convient, avant de commencer le laminage, de forger. de réduire le diamètre des extrémités sur un mandrin court M' afin que, par suite du frottement que le tube intérieur subit sur le mandrin fixe M, les tubes extérieurs ne glissent pas, de manière qu'il y ait une liaison suffisante au début.

On peut aussi, pour prévenir tout déplacement, munir le tube intérieur d'une bride *(fig. 39)*.

Ce procédé permet d'éprouver la solidité des différentes parties ou tubes avant leur réunion. Il évite l'emploi de fortes épaisseurs, toujours sujettes à des défauts difficiles à constater. Il facilite le choix du métal suivant les propriétés particulières qu'il doit présenter, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur. Mais il a le grave inconvénient des soudures multiples sur grandes surfaces cylindriques, surfaces qui rendent difficile la réussite, l'absence de solutions de continuité.

M. Mannesmann (1) a encore proposé d'appliquer un procédé ayant pour but de développer comme on le faisait avec le procédé d'Uchatius dans les canons de bronze, des tensions et des compressions initiales dans les couches de métal des corps de canons.

Le procédé d'Uchatius, adopté à l'arsenal de Vienne, consiste à faire passer à force, à l'intérieur du corps d'un canon, un mandrin, de façon que les couches extérieures du tube subissent une traction, et les couches intérieures une compression directe. L'opération se fait également pour les frettes de canons.

(1) Brevet du 23 mai 1890.

Digitized by Google

M. Mannesmann réalise le même but pendant le forgeage du canon, que celui-ci soit laminé, pressé, martelé ou travaillé au moyen de matrices.

Ce procédé consiste dans la réfrigération de l'intérieur du canon au moyen de gaz, de liquides ou de corps solides, et cela pendant que l'on façonne le canon à l'état chauffé.

Par suite de cette réfrigération, les couches intérieures du tube opposent aux variations de forme une plus grande résistance que les couches extérieures chauffées, elles subissent pendant le travail une tension de pression qui s'accroît encore par suite de la contraction des couches extérieures, provoquée par leur refroidissement graduel. C'est ce que l'on obtient d'ailleurs, avec moins d'efficacité, lorsqu'on forge une frette sur mandrin creux refroidi par l'air qui circule au centre.

Par le réglage du degré de chaleur auquel la pièce à façonner est amenée avant le traitement en question et par le réglage de la réfrigération des couches intérieures pendant le travail, on peut déterminer la tension dans les différentes couches du corps creux, notamment la proportion dans laquelle la tension de pression diminue à l'intérieur vers l'extérieur et se transforme en tension de traction, de façon que, d'une part, suivant l'importance et la nature de la pression intérieure que subissent les corps creux, la zone exempte de tension se trouve plus ou moins éloignée de la surface intérieure du corps creux, tandis que, d'autre part, la tension de pression reçoive une intensité appropriée dans les couches intérieures situées près de la surface intérieure.

Si on suppose l'application de ce procédé à un canon composé de plusieurs tubes *(fig. 40)*, on introduit à l'intérieur du canon un liquide réfrigérant en même temps que la pièce est fortement comprimée en étampes extérieurement.

Il se produit alors dans les couches intérieures des forces radiales tendant à séparer les dernières couches extérieures *(fig. 41)*.

Digitized by Google

Lorsque la réfrigération s'étend vers l'extérieur, la zone de séparation des couches se déplace vers l'extérieur *(fig. 42)* et comme les couches extérieures se rapprochent du centre par le travail de compression des outils, de façon qu'elles suivent la traction exercée par les couches intérieures *(fig. 43)*, les tensions de traction signalées ci-dessus disparaissent.

En cessant la pression extérieure et la réfrigération étant complète, les couches extérieures se contractent, tandis que les couches intérieures, refroidies antérieurement, ne subissent qu'une contraction moindre, ce qui détermine *(fig. 44)* des tensions dans les couches extérieures, les couches intérieures étant comprimées.

Lorsqu'un canon subit une pression intérieure élevée, le diamètre intérieur s'accroît légèrement, et la tension de pression dans les couches intérieures se transforme en tension de traction, en sorte que toutes les couches subissent une traction.

On peut employer, pour la réfrigération de l'eau, de l'huile, du plomb ou toute autre matière. Ce sont des moyens qui nous paraissent bien aléatoires, qui exigent que l'on supprime le recuit et la trempe. Ils présentent plus d'inconvénients que d'avantages et leur application est très délicate.

Projectiles.

Les projectiles qui donnent lieu à des opérations de forgeage sont les balles et les obus dont les enveloppes sont en métal malléable.

La fabrication des balles ou des petits projectiles qui se répètent à ne pouvoir se compter a motivé, en ces dernières années, la création de machines ingénieuses forgeant ces objets avec grande rapidité et précision.

Il en est de même des étuis ou cartouches pour balles dont la fabrication applique les procédés d'emboutissage depuis l'emploi de ces enveloppes.

Digitized by Google

Les gros projectiles étaient autrefois en fonte, en acier coulé.

Les premiers obus, dits de rupture, que l'on ait fabriqués (vers 1865) étaient en acier, coulés pleins, martelés, creusés à l'outil, puis trempés.

Aujourd'hui, on applique également aux enveloppes d'obus les procédés de forgeage et l'emboutissage direct, comme pour les cartouches.

Rouleuse à forger les petits projectiles.

Les balles sphériques, les projectiles de forme cylindrique ogivale sont forgés entre disques ou plateaux lamineurs pouvant présenter différentes dispositions *(pl. 44, fig. 1 à 11)* (1).

Les plateaux, de diamètres égaux ou inégaux *(fig. 8, 10* et *11)*, présentent une ou plusieurs rainures en spirale donnant la forme à la pièce forgée par rotation en sens contraire, ou rotation de l'un des deux disques dans le sens convenable, l'autre étant fixe.

Les plateaux peuvent être disposés *(fig. 7)* à faces parallèles. ou *(fig. 5)* à faces inclinées.

L'un des disques de chaque paire est muni d'une ou plusieurs ouvertures percées au centre ou près du centre, par lesquelles on introduit les pièces brutes ou ébauchées, ou par lesquelles es pièces finies sortent. Le trou de passage correspond à l'extrémité intérieure de chaque rainure *(fig. 10)*. Les trous pour l'introduction des pièces brutes sont réservés dans le disque supérieur, et les trous pour la sortie sont ménagés dans le disque inférieur.

Lorsque l alimentation est faite par les bords, on ménage à l'extérieur de chaque rainure *(fig. 10)* un bord plat C.

Les disques à diamètres égaux sont disposés de telle façon que, lorsque les extrémités extérieures E des rainures *(fig. 10)* passent l'une sur l'autre, ces extrémités se trouvent toujours dans le même plan vertical.

Les disques peuvent être concentriques ou excentriques.

(1) Machine à forger de Fairbairn, 14 novembre 1890.

Digitized by Google

Dans le premier cas, ils peuvent tourner en sens contraire, à des vitesses différentes, ou bien l'un d'eux peut tourner et l'autre rester fixe; on y introduit les pièces brutes de préférence par les ouvertures centrales du disque supérieur, quoiqu'elles puissent également être introduites par les bords.

Il est préférable de disposer les disques excentriquement l'un par rapport à l'autre *(fig. 1* à *6)*; dans ce cas, les disques tournent en sens contraire, avec des vitesses égales. Il convient également que leurs axes fassent un petit angle.

Cette disposition permet d'enlever les battitures plus aisément; selon la rotation relative, elle attire les pièces du bord d'introduction vers le centre, ou les repousse du centre vers le bord, en suivant une ligne droite *(fig. 8)*. Cette ligne est celle du plus petit écartement des disques. Son extrémité extérieure est le point d'introduction F des disques forgeurs, et la disposition *(fig. 5* à *8)* est telle que les extrémités extérieures des rainures se croisent en ce point F lorsque les disques tournent, de telle sorte qu'elles détachent ou tranchent une pièce brute dans l'extrémité d'une barre chauffée engagée entre les bords d'introduction *(fig. 6* et *7)*.

Le degré d'excentricité le plus convenable est de trois à quatre fois le diamètre de la pièce; cette excentricité est variable à volonté pour permettre d'amener les disques dans la meilleure position l'un par rapport à l'autre, et pour permettre de faire varier le degré d'excentricité lorsque les disques sont rechangés par d'autres de diamètres différents.

Pour achever les pièces, on emploie, de préférence, des disques de diamètres inégaux en vue de déterminer des glissements produisant le polissage.

Les rainures en spirale de chaque disque ont une coupe transversale ayant la forme de la moitié de la section de la pièce à forger; ainsi, pour fabriquer les balles sphériques (1),

(1) C'est également avec une telle rouleuse que l'on fabrique les billes de roulement dont le polissage est obtenu entre les disques d'émeri.

Digitized by Google

les rainures ont une section semi-circulaire. La *figure 11* se rapporte à des projectiles en forme d'ogives.

Lorsque les disques tournent à des vitesses égales dans des directions contraires, ce qui est la disposition préférable, les spirales ont la même direction dans chaque disque, c'est-à-dire qu'elles sont toutes deux à droite ou à gauche, lorsque les faces des disques sont vues par le haut, et les deux rainures ont la même division et la même section transversale.

Si les disques sont inclinés l'un sur l'autre, le contact de roulement du bord vers le centre est obtenu en donnant à l'un des disques ou aux deux la forme d'un cône de faible inclinaison (*fig. 5*).

Dans le cas de disques excentriques (*fig. 1* à *6* et *9*), il n'y a qu'un point d'introduction F près des bords, et la machine n'est alimentée qu'une seule fois par tour pour chaque spirale.

Dans le cas de disques parallèles excentriques (*fig. 7*), la machine peut être alimentée avec une barre et par les bords; ou, si les disques sont concentriques, avec des pièces brutes qu'on introduit par le centre, deux fois par tour dans chaque spirale.

Dans quelques cas, comme par exemple pour forger ou finir des pièces cylindriques et coniques, la rainure peut être formée dans l'un des disques, l'autre restant uni.

La machine *figures 1* et *2* est disposée avec deux disques inclinés. L'alimentation se fait par le devant, la sortie des pièces a lieu par le centre du disque inférieur en se déversant dans l'arbre creux D dont l'extrémité inférieure débouche dans une boîte H.

Les disques tournent en sens contraire, par arbres et engrenages actionnés par une courroie motrice.

La machine *figures 3* et *4* comporte une paire de plateaux ébaucheurs et une paire de finisseurs placés plus bas que les précédents.

Le disque inférieur de la paire supérieure et le disque supé-

Digitized by Google

rieur de la paire inférieure sont montés sur un même arbre creux D *(fig. 9)*. Ces deux disques ont des ouvertures centrales qui communiquent avec l'intérieur de l'arbre creux, de telle sorte que les pièces forgées dans les ébaucheurs descendent par l'arbre creux dans les finisseurs, d'où ils sortent en roulant vers les bords extérieurs.

Les organes de commande sont tels que les disques solidaires de l'arbre D tournent en un sens, tandis que les autres tournent en sens contraire avec des vitesses égales.

Comme toutes les spirales ont la même direction, il en résulte que les disques supérieurs alimentent des bords vers le centre, et les disques inférieurs, du centre vers les bords.

Les rainures des disques sont de dimensions variables déterminant progressivement la forme finale à produire.

Des projectiles allongés sont forgés et finis en une seule opération par une seule paire de disques. Si ces projectiles doivent être rayés ou cannelés, on les forge au moyen de barres ou de pièces ébauchées, préalablement rayées ou cannelées, et l'action des disques est réduite à la formation des pointes coniques ou autres parties à section circulaire.

Les barres d'assez gros diamètre peuvent être chauffées dans un four ordinaire et présentées à tour de rôle ; mais, pour celles de petit diamètre, il convient d'employer un four spécial, disposé tout près des bords des disques, l'alimentation se faisant d'une façon pour ainsi dire continue, par les bords disposés en cisaille à l'entrée des spirales.

La barre est d'ailleurs entraînée vers le centre pour être coupée à longueur convenable, les bords des disques régularisant l'extrémité avant la coupe.

Lorsqu'il s'agit d'ébauches ou de morceaux découpés préalablement, il est préférable d'adopter l'alimentation par le centre. On conçoit que la production de ces machines peut être très grande et dépend de la dimension des projectiles.

Digitized by Google

C'est une des plus intéressantes applications du procédé de roulage.

Étuis de cartouches.

Les étuis métalliques pour cartouches donnent lieu à une fabrication d'importance industrielle considérable.

Depuis l'emploi des fusils se chargeant par la culasse, on a cherché à construire des étuis métalliques pouvant servir plusieurs fois.

On en fit en tôle d'acier, puis en laiton par les procédés d'emboutissage en leur donnant des formes diverses.

Ce sont les Américains qui, les premiers (1861), firent usage d'étuis entièrement métalliques obtenus par l'emboutissage d'un disque de cuivre, en donnant une épaisseur uniforme au culot et à la partie cylindrique, avec bourrelet formé par un repli du métal *(fig. 13)*.

En ces dernières années, on adopta l'étui présentant une surépaisseur au culot, puis au lieu de former le bourrelet par un repli du métal, on l'a ménagé dans la partie pleine du culot ; de plus, on a donné aux parois de l'étui des épaisseurs allant en diminuant proportionnellement aux efforts qu'elles ont à supporter.

Nous indiquerons le procédé de fabrication de ce type de cartouche.

La rondelle de laiton ou flan *(fig. 14)*, est découpée, dans une bande laminée dont l'épaisseur et le diamètre sont déterminés d'après la forme à obtenir et aussi selon le nombre d'opérations d'emboutissage et d'étirage à faire subir.

La même machine peut découper le flan et produire le premier emboutissage *(fig. 15)*; pour cela, après que l'emporte-pièce a découpé la rondelle, un mandrin de forme convenable refoule le métal dans une matrice correspondante.

Le culot obtenu subit ensuite un certain nombre d'étirages, au moyen de machines dites emboutisseuses-étireuses, en

Digitized by Google

modifiant progressivement les dimensions des mandrins et matrices, tout en conservant au fond la quantité de métal suffisant pour former le culot et le bourrelet.

On a soin de recuire le métal au rouge cerise pour lui restituer sa malléabilité; chaque recuit est suivi d'un décapage et les irrégularités de l'étirage sont rectifiées par le découpage du métal en excès.

On procède, de même, à la formation du bourrelet et du logement de l'amorce.

Le bourrelettage achevé, on imprime en creux sur la tranche du culot les différentes marques indiquant l'origine de l'étui, puis on perce les évents.

Jusque-là l'étui a conservé extérieurement la forme cylindrique *(fig. 16, 17 et 18)* que l'on transforme par l'opération du conage ou sertissage obtenue à l'aide de machines à mandriner et qui a pour but de lui donner la forme en bouteille *(fig. 19 et 20)*.

L'étui terminé est lavé, puis séché; il ne reste plus qu'à couper la tranche antérieure, à tourner le bourrelet de façon à donner à son pourtour une netteté suffisante pour assurer un bon fonctionnement de l'extracteur.

Notons que la balle des cartouches de guerre est entourée d'une enveloppe en nickel fabriquée par les procédés d'emboutissage avec des flans découpés dans des tôles laminées dont l'exécution est excessivement soignée.

Les longues douilles de gargousses d'artillerie en cuivre se fabriquent d'une façon analogue à la précédente. Signalons cependant qu'on a appliqué depuis peu de temps l'action directe d'un fluide sous pression en vue de réduire les déchets plus ou moins nombreux que déterminent l'emboutissage, l'étirage avec poinçons, puis le finissage ou la réfection obtenus par le martelage ou le passage à force des emboutis dans les formes convenables.

Digitized by Google

La disposition nouvelle comprend *(fig. 21 et 22)* (1) un poinçon percé de plusieurs ouvertures qui permettent au fluide de s'introduire à l'intérieur de la pièce lorsque celle-ci a été saisie par le poinçon et la matrice. Ce fluide agit pour effectuer l'étirage comme si le poinçon se déplaçait lui-même ; le frottement est ainsi réduit dans une grande proportion.

Dans la *figure 23*, la matrice est en plusieurs parties à cause de la forme de la pièce qui se moule par la pression énergique du liquide.

Dans ce procédé, plus particulièrement que dans celui ordinaire, il est indispensable que l'ébauche soit d'épaisseur régulière et que les outils soient bien guidés et maintenus.

Dans la fabrication des douilles de gargousses, le refoulement du rebord présente quelque difficulté ; il exige une pression considérable pour déplacer la matière latéralement en vue de former le rebord.

On atténue la pression en pratiquant une encoche extérieure C *(fig. 24)*, soit au tour, soit par laminage au moyen d'un disque profilé et placé obliquement.

Puis on aplanit le culot A au moyen d'une estampe et d'une matrice appropriées, ce qui produit le rebord D *(fig. 25)*.

S'il est nécessaire que la douille reçoive encore un étranglement E, on le pratique par laminage, repoussage au tour.

Lorsque la douille achevée doit comporter un épaulement à l'intérieur *(fig. 28)*, il importe que dans la forme primitive *(fig. 26)*, la surépaisseur F, ménagée à la partie de transition entre la partie bombée du culot et le cylindre, se prolonge aussi sur la partie inférieure de ce dernier, de façon qu'on puisse également pratiquer une échancrure circulaire G *(fig. 27)* à l'intéireur, et qu'après la compression finale qui donne la forme *figure 28*, l'épaulement circulaire H subsiste (2).

(1) Brevet de la Société pour la fabrication des munitions d'artillerie (12 novembre 1892.)

(2) Brevet du 23 juillet 1892. Société Grusonwerk.

Digitized by Google

Obus.

On distingue les obus de rupture et ceux pour produits explosifs.

Les premiers, dits *shells*, sont destinés à l'attaque des plaques de cuirassement et affectent la forme cylindrique à tête ogivale, avec ou sans culot (*fig. 29* et *30*). Ils ont une chambre de faible capacité.

Ceux pour produits explosifs ont, au contraire, une chambre de grande capacité (*fig. 31* à *35*), le culot n'est ordinairement pas perforé; le chargement se fait par la tête, on les désigne aussi sous le nom de *shrapnels*.

Les obus d'attaque doivent présenter une grande dureté à la pointe, tout en conservant au métal la ténacité, la ductilité nécessaires pour prévenir la rupture au moment du choc des organes de défense.

Les plus résistants se font actuellement en acier chromé (1) et en acier-nickel, fondu au creuset trempé à l'eau, à l'huile, à la glycérine, à l'ammoniaque, au plomb, etc.

Ils proviennent de lingots pleins à surface nette, forgés avec ménagement, puis matricés, percés par refoulement, achevés en étampes, ou à une rouleuse, ou au laminoir ordinaire. Ils sont trempés après usinage; la trempe est difficile pour obtenir un degré de dureté variable de la pointe à la tête.

Un obus de 400^{kg} a son lingot serré, étampé avec un pilon de 10 à 15^{t}; on recuit la pièce obtenue avant de lui faire subir le travail d'ajustage.

---

(1) Les premiers obus de rupture en acier chromé ont été fabriqués par MM. Holtzer et Cie vers 1885. L'acier est obtenu en faisant fondre dans un creuset un mélange d'acier cémenté provenant de fonte au bois, de ferro-silicium, de ferro-chrome et de ferro-manganèse. Le produit contient de huit à douze millièmes de carbone et environ 2 0/0 de chrome. Les plus gros obus actuels pèsent une tonne, pour canon de Krupp de 42^{cm} sur affût de côte; poids 122 tonnes, construit en 1886.

Digitized by Google

La double trempe est adoptée dans quelques usines; une première à l'eau sous forme de pluie; la seconde est faite au plomb.

A Trubia (Espagne), l'obus de 450^{kg} en acier à 1 0/0 de chrome est forgé avec une presse de 1.200^{t}. On le trempe en projetant sous forme de jet divisé 6 à 7.000^{l} d'huile. Les tuyaux amenant l'huile sous pression sont disposés pour projeter le liquide à l'intérieur et à l'extérieur afin de limiter autant que possible les tensions et prévenir les tapures.

La trempe d'un obus se fait encore par la double trempe immédiate partielle en le chauffant au rouge, en plongeant d'abord la pointe dans le bain pour la refroidir rapidement; puis on la retire pour la laisser revenir un peu et l'obus est alors immergé en entier dans le bain d'huile dont le poids est de six à dix fois celui de la pièce.

Retiré du bain, après complet refroidissement, l'obus est recuit jusqu'à la température faisant disparaître l'huile qui adhère à la surface. Il n'est pas douteux que l'on obtiendrait une dureté extrême de la pointe d'un obus en la cémentant, puis la trempant au maximum à l'eau salée et glacée, ou encore en opérant la trempe après avoir cémenté la pointe au prussiate ou en la cémentant dans le bain de trempe lui-même de composition analogue à celle employée pour tremper les outils, tels que poinçons, lames de cisailles. On conserverait néanmoins une forte ténacité et une grande élasticité à la pointe.

Le modèle d'obus à ogive muni d'une coiffe *(fig. 30)* ou revêtement en métal doux recouvrant la partie extrême de l'ogive sur une partie plus ou moins grande de sa hauteur, donne lieu à un assemblage de la coiffe par simple adhérence magnétique, ou bien la pose se fait à chaud avec serrage par refroidissement ou par sertissage complété par quelques vis vers la base de la coiffe. La ceinture de cuivre enroulée en hélice *(fig. 35)* est engagée dans une rainure trapézoïdale, puis matée pour refouler le métal et assurer une bonne tenue.

Digitized by Google

La forme des obus permet de préparer deux ébauches à la fois; la méthode (1) consiste à couper dans une barre ronde d'acier et d'un diamètre un peu inférieur à celui de l'obus à obtenir, un lopin d'un poids légèrement supérieur au double de celui d'un obus.

On forge le lopin pour obtenir deux ébauches réunies par une tige de petit diamètre *(fig. 36)*.

Dans une deuxième opération, on donne la forme *(fig. 37)* à partie conique ogive de profil très voisin du profil définitif. On coupe à la scie la tige de jonction au milieu. Chaque ébauche étant réchauffée, est introduite, téton en bas, dans une matrice *(fig. 38)* dont les dimensions tiennent compte des retraits produits par la cessation de la pression ainsi que par le refroidissement. Elle reçoit l'action d'un poinçon *(fig. 39* et *40)*. La pièce est ébarbée, vérifiée, remaniée s'il y a lieu à l'étampe.

Il reste à former le culot au moyen du métal du bourrelet ménagé à cet effet, et à faire disparaître la légère conicité qu'on a laissée au corps de l'obus pour faciliter son dégagement de la matrice.

Pour cela, on peut soit l'étamper au pilon ou à la presse, ou mieux le faire passer, par pression hydraulique, dans le mandrin-filière *(fig. 41)*, muni d'un guide emboîtant la tête.

Un pousseur intérieur déplace l'obus en s'appliquant par son collet sur le culot du projectile.

Le métal en excédent est en partie coupé par les lèvres d'entrée de la filière, le reste se refoule, se replie, prend appui autour du mandrin pousseur, remplit les vides de pourtour, se calibre extérieurement, forme bourrelet intérieur. Le bout de tige est enlevé à l'ajustage; le refoulement de cet appendice se ferait dans de mauvaises conditions. L'intérieur de l'obus est achevé à l'ajustage avant trempe et peut présenter l'une des formes *figures 42* et *43*.

(1) Brevet Perisse, 28 mars 1892.

Digitized by Google

M. Boulet a proposé (1) de repousser une ébauche *(fig. 44)*, obtenue par laminage ou matriçage, au moyen d'un poinçon de forme dont le volume est égal au vide que laisse l'ébauche dans la matrice M *(fig. 45)* pourvue d'une bague E en deux parties, pour permettre l'emboîtement convenable de la pièce au début de l'opération.

Le bourrelet est regularisé vers la fin de l'opération par une bague B qui emboîte la partie supérieure du poinçon.

Selon les dimensions des obus et la puissance dont on dispose, on opère en un certain nombre d'opérations. Pour les gros obus on peut faire emploi de poinçons à sections rectangulaires progressives *(fig. 46.)* L'ébauche *figure 47* doit être forgée de telle sorte que le premier poinçon la fende en déterminant une épaisseur presque uniforme à la paroi. L'outil doit agir par coupe et écartement et non pas par refoulement proprement dit, et cela afin de réduire l'effort de pénétration. A chaque opération la bague E *(fig. 46)* est pourvue de manchettes rechangeables, dont les dimensions ne laissent entre elles et l'ébauche que le vide équivalent au volume du poinçon introduit.

L'ébauche des gros obus peut avoir la forme initiale *(fig. 48)* qui permet de supprimer la bague en deux parties. Les poinçons affectent les formes *figure 49*.

Pour rectifier les irrégularités du travail, l'obus est soumis à l'action d'un laminoir à six galets *(fig. 50 et 51)*. Le galet intérieur C peut se déplacer longitudinalement et transversalement pour obtenir la forme exacte de la chambre. Les galets D ne se déplacent pas; les galets BB peuvent se déplacer d'une façon automatique; le galet E se déplace aussi à volonté.

On peut donc, avec ce laminoir très ingénieux, achever le projectile au plus près, ce qui est un grand avantage.

M. Boulet préconise aussi de tremper l'obus sous pression. A cet effet, il est vissé à chaud sur un taraudage libre du piston B

(2) Brevet du 12 décembre. 1892

Digitized by Google

(fig. 52) rentré dans une cloche L jusqu'à fond de course. Un piston D vient recouvrir l'appareil ; l'obus se trouve ainsi dans une chambre fermée. Un tuyau J en communication avec un accumulateur emplit la chambre, soit d'huile ou d'eau appropriée qui développera une pression intérieure. De plus, l'espace supérieur I est également mis en communication avec l'accumulateur et, par les trous F, le liquide s'introduit pour tremper la pointe, envelopper l'ogive et passer dans la couronne pour s'échapper à volonté par le tuyau K. On peut ainsi obtenir une trempe énergique de la pointe et une décroissance de trempe dans les autres parties de manière à prévenir les tapures. On peut régler la circulation de l'eau sous pression de telle sorte que la vaporisation n'ait pas d'influence fâcheuse. Ces procédés très ingénieux exigent des outils un peu complexes et de plus grande précision que celle que présentent les moyens courants.

Obus ordinaires.

Les obus ordinaires, c'est-à-dire ceux de grande ou moyenne capacité pour engins explosifs, s'exécutent soit par refoulement comme les obus de rupture, soit par emboutissage et étirage au mandrin-filière, soit par la combinaison de ces procédés avec ceux de laminage.

Ces obus viennent de forge avec le culot ouvert *(fig. 33)* ou fermé *(fig. 35)*, ce qui donne lieu à quelques particularités de fabrication.

L'acier doit être de bonne qualité, très ductile pour pouvoir supporter les opérations de forgeage qui tourmentent beaucoup le métal. On adopte ordinairement les caractéristiques

$$R = 80 \text{ à } 90^{kg} \qquad \frac{A}{100} = 18 \text{ à } 10.$$

L'obus à culot ouvert obtenu par refoulement a pour départ un lingot conique *(fig. 53)* ou un lopin cylindrique *(fig. 54)*,

Digitized by Google

tranché à la barre ; ou mieux, un lopin de forme conique que l'on étampe à la barre deux par deux *(fig. 55)* et que l'on scie à longueur en laissant un petit excès de métal pour parer aux défectuosités du travail.

Réchauffé au jaune orange, le lopin est engagé dans la matrice M *(fig. 56)*. Il n'y a pas de jeu afin que le poinçon P attaque bien au centre dès le début du refoulement ou défonçage en hauteur sous la forme intermédiaire [tracé pointillé *(fig. 57)*].

A un moment donné, le collet du poinçon *(fig. 58)*, très large pour assurer une bonne assiette, vient buter contre la pièce de forme cylindrique ou évasée par l'action même d'écoulement du métal ; en poursuivant sa course, le poinçon et son collet refoulent alors le métal dans la partie évasée de la matrice et le bourrelet extérieur se forme. On laisse un certain jeu entre le dessus de la matrice et le dessous du collet afin que le métal en excès puisse s'y loger ; mais, pour que le poinçon descende toujours à la même profondeur, on dispose entre le porte-matrice et le porte-poinçon deux cales C qui limitent et repèrent la course du poinçon.

L'opération se fait au pilon par coups répétés ou mieux à la presse d'une façon continue.

Afin de faciliter l'enlèvement de la pièce, la forme extérieure est conique. Pour les petits obus, on la rend cylindrique sur la longueur voulue par un étampage finisseur qui reporte à l'intérieur *(fig. 59)* le bourrelet extérieur. S'il s'agit d'obus de grande longueur, l'ébauche vient de matriçage comme *(fig. 60)* tracé pointillé, obtenue en une ou deux opérations, suivant la puissance des outils que l'on utilise.

L'ébauche est ensuite laminée sur mandrin un peu conique, entre des cylindres à cannelures ordinaires. Il convient d'opérer en deux chaudes pour changer de mandrin et adopter un diamètre légèrement supérieur au diamètre intérieur définitif, mais encore conique afin de faciliter le démontage à la fin du laminage.

Digitized by Google

L'obus laminé est régularisé par un premier passage à chaud à travers un mandrin-filière et sur un mandrin-pousseur intérieur, comme s'il s'agissait d'un tube fermé. Un ou deux passages à froid calibrent définitivement la pièce qui est ou non recuite entre les deux passages selon l'importance de la réduction de diamètre qu'elle a subi. On a soin de bien décaper les surfaces et de graisser abondamment les outils pour prévenir les grippements.

Ces obus subissent un recuit, puis la trempe à l'huile ou à l'eau tiède suivie d'un recuit définitif. Ils sont ensuite usinés.

Les obus à culot fermé *(fig. 31)* s'obtiennent de la même façon. Une opération complémentaire est cependant nécessaire pour former la tête *(fig. 61)* qui est restreinte en étampes après avoir tourné l'obus à l'intérieur et à l'extérieur au plus près des dimensions définitives.

Rappelons que M. Burton a disposé une rouleuse, avec chauffage électrique, pour laminer les petits obus à la barre. (Voir première partie, *Laminage transversal*.)

Obus emboutis.

Le procédé d'emboutissage n'est appliqué que depuis quelques années à la confection des obus qui peuvent être considérés comme des récipients analogues aux bouteilles contenant des fluides sous pression. On part d'un flan circulaire découpé à chaud à la défonceuse dans des plaques d'acier doux résistant capable de supporter les opérations d'étirage successives, après emboutissage en forme de cuvette, en opérant à chaud au rouge sur mandrins intérieurs et extérieurs, à la presse hydraulique ou au pilon, pour les premières transformations de l'ébauche, ou au tour à galets. Chaque passage pour le dégrossissage de l'embouti exige un réchauffage au rouge clair.

Afin de faciliter l'enlèvement de la pièce du mandrin intérieur,

Digitized by Google

quand on opère au mandrin-filière, on emploie, dans les dernières passes d'étirage, des mandrins revêtus d'enveloppes mobiles qui se détachent aisément du mandrin en restant adhérentes à la pièce. Ces parties peuvent être graissées sur le mandrin, ce qui diminue l'adhérence. Pour enlever l'enveloppe, on la refroidit rapidement à l'intérieur. La contraction produit un retrait suffisant pour dégager l'enveloppe sans produire de défaut sur la pièce, particulièrement lorsque celle-ci est à mince paroi, de grande longueur et présente une forme intérieure cylindrique.

En combinant les procédés de matriçage et d'emboutissage, la méthode consiste à prendre un lingot coulé ou forgé de forme cylindrique que l'on chauffe et que l'on matrice *(fig. 1, pl. 45)* en lui donnant la forme d'une ébauche dont les bords ont une surépaisseur de même que le fond. Le métal du bord est ensuite étiré sur enclume spéciale *(fig. 2)* pour ramener à une épaisseur uniforme la paroi. L'ébauche est progressivement emboutie à chaud et prend les formes du diagramme *(fig. 3)*. L'emboutissage se fait en matrices, comme le montre la *figure 4*, pour l'une des phases de l'opération.

S'il s'agit d'un obus à tête fermée, les diverses phases correspondent à la *figure 5*.

Les *figures 6* à *45* se rapportent aux dispositions et procédés de la Compagnie des ateliers de Saint-Étienne (1).

Les flans sont découpés par une défonceuse *(fig. 6* à *9)* comprenant une matrice-guide A, une rondelle-guide B, une rondelle C servant à couper, rapportée sur le coulisseau D, une rondelle rapportée E maintenue par la plaque F; G est la tôle à découper; H, l'appareil permettant de retirer les tôles découpées; I, vis pour chasser les flancs circulaires.

Les *figures 10* à *14* sont les dispositions des tours à emboutir.

A est l'appareil portant les galets E.

(1) Brevet du 26 janvier 1884.

Digitized by Google

B, pièce emboîtant la tôle à travailler et s'appuyant contre la butée C; D, mandrin.

Les galets E agissent extérieurement et, dans certains cas, ils sont disposés pour agir intérieurement.

Les *figures 16* à *20* sont les ensembles et les détails de l'appareil repousseur.

Les outils finisseurs sont représentés *figures 21* à *23*.

Les *figures 24* à *26* se rapportent à des galets coniques.

Les *figures 27*, *28* et *29* comprennent l'appareil lamineur, emboutisseur, repousseur, complètement indépendant et muni d'un plateau, disposition qui montre que les galets sont formés de plusieurs rondelles ayant pour but d'éviter les glissements et arrachements qui se produiraient lorsque la surface à travailler n'est plus un cylindre et que les outils actionnent le métal sur une longueur assez grande à la fois. La différence de vitesse entre deux points d'une même génératrice devenant importante, l'action des galets ordinaires d'une seule pièce ne serait plus régulière, le façonnage deviendrait même impossible si les galets, épousant la forme de la pièce, n'étaient constitués par des rondelles juxtaposées indépendantes, tournant autour d'un même axe et disposées de telle façon que les plans de séparation de chaque rondelle d'un même groupe ne correspondent pas aux plans de séparation du groupe voisin, de sorte que les rondelles ne font pas la même trace sur le métal. Les *figures 30* à *32* indiquent aussi la disposition des outils composés.

Dans cette fabrication, la tôle, prise sous la forme d'un disque circulaire *(fig. 33)* est amenée par une série d'opérations toutes de forge, en passant par les différentes phases représentées *(fig. 34* à *39)*, à la forme demandée; l'épaisseur seule des parois n'est pas aux dimensions. A cet effet, les appareils finisseurs assurent les épaisseurs après avoir monté la pièce sur un mandrin *(fig. 40)* de forme exacte intérieure, et en agissant à l'extérieur.

Digitized by Google

Le nombre des opérations successives varie suivant les longueurs et épaisseurs à obtenir.

De préférence, les appareils sont fixés sur le chariot d'un tour, qui donne le mouvement d'avancement voulu aux outils, tandis que la pièce, montée sur le mandrin du plateau du tour, transmet le mouvement de rotation aux galets eux-mêmes (*fig. 43* et *44*).

Ceux-ci sont de forme ordinaire pour étirer les parties cylindriques correspondant aux *figures 41* et *42*; de forme conique (*fig. 24*), pour l'ébauchage; de forme enveloppe de la pièce pour les passes finisseuses.

Les obus peuvent encore être confectionnés en partant de tronçons de tubes découpés que l'on ferme à une extrémité par soudage en étampes sur mandrin, comme le montrent les *figures 45* à *51*.

La *figure 45* indique la disposition du mandrin M et de l'étampe E pour obtenir la première déformation, qui doit être la plus grande possible, se rapprochant de la forme définitive.

La *figure 46* correspond à la deuxième déformation; le mandrin ne s'applique pas sur le bout, de manière que l'étampe refoule le métal latéral et le répartisse bien en lui donnant une pression énergique faisant disparaître le plis qui se sont formés.

La *figure 47* indique l'obus après sa deuxième façon, disposé sur le mandrin pour la troisième opération qui détermine le plat de l'extrémité de l'obus terminé comme *figure 48*.

Chaque opération exige un réchauffage bien régulier.

Pour des abouts semi-sphériques, les *figures 49*, *50* et *51* montrent la disposition des outils.

L'avantage de ce procédé est de permettre l'emploi de tubes sans passer pour chaque pièce, par de nombreux étirages (1).

---

(1) Brevet Sayn du 15 février 1884.

Digitized by Google

Les obus se font encore en deux parties : celle comprenant la pointe, est en acier de qualité spéciale, le culot est en acier ordinaire. Les parties sont soudées sur joint circulaire vers le milieu de la longueur. On a soin de tourner les parties pour qu'elles s'emboîtent quelque peu. Un trou est aussi percé dans le culot pour le dégagement des gaz.

S'il s'agit d'un obus à pointe en acier chromé, on peut souder simplement l'extrémité. La soudure électrique par courant direct s'applique aisément à ce mode de construction en agissant par pression. Le bourrelet formé au joint s'enlève après coup.

Obus emboutis et laminés.

La combinaison de l'emboutissage et du laminage simultanés s'applique aux obus courts au moyen de la machine *(fig. 52* et *53)* (1).

Le flan cylindrique chauffé à haute température est d'abord mis à la forme d'ébauche H' *(fig. 54)* par le mandrin A monté sur la tige d'un pousseur hydraulique D *(fig. 52)* et par les trois galets lamineurs E,EE.

Pendant l'opération, le mandrin A avance progressivement tout en tournant par entraînement entre les galets E.

L'ébauche étant réchauffée, passe au finisseur F *(fig. 52)* disposé de l'autre côté et comprenant également trois galets et un mandrin de forme finale.

L'opération n'est possible qu'autant que les galets lamineurs sont parfaitement maintenus à la tête, par un guide G disposé *(fig. 52, 55* et *56)* sur le devant de la cage et enveloppant l'ensemble des parties ogivales des galets en pénétrant dans le vide qu'elles laissent entre elles, mais sans dépasser et même sans atteindre la limite des cercles tangents à leurs surfaces intérieures, à toutes les sections communes et perpendiculaires à

(1) Brevet Verdreau du 27 janvier 1883.

Digitized by Google

leur axe, de manière à leur laisser faire une légère saillie nécessaire à leur action sur le disque à emboutir.

Cette plaque-guide G forme ainsi, par son vide intérieur en tronc de cône dont la base est indiquée par la circonférence C, une matrice guidant le disque quand l'action de la presse hydraulique le pousse dans le laminoir, et l'empêchant de dévier et de se plisser. Sans ce guide le disque se plisserait à ses trois points de contact avec les galets et refuserait de tourner et de se façonner.

Lorsque l'obus est de grande longueur, l'ébauche est préparée au pilon, puis passe au finisseur. On prend un lingot à section rectangulaire; on l'étire et on le sectionne au point voulu, puis on abat les angles et on l'arrondit au pilon pour obtenir un disque *(fig. 57)* ayant subi un coup de poinçon pour assurer sa position sur l'étampe matrice M *(fig. 59)* qui lui donne la forme indiquée avec la matrice M' *(fig. 58)*.

On lui donne ensuite la forme B' *(fig. 60)* par son passage à travers un mandrin P', l'ébauche étant soutenue par le poinçon P.

De là, on enfile l'ébauche sur le mandrin R *(fig. 61* et *62)* et on l'étampe et l'étire au pilon en partie. La pièce passe finalement au laminoir finisseur pour y recevoir une dernière façon et l'étirer à longueur voulue.

Obus en acier forgé à l'état liquide.

Les lingotières, pour forger par compression et martelage sur mandrin les obus en acier fondu à l'état liquide, sont disposées pour permettre de laisser le retrait plus ou moins brusque du métal s'opérer sans résistance pour éviter des criques et sans avoir recours au réchauffage pour sortir le mandrin de la pièce.

La tige A *(fig. 63* à *66)* (1) est d'un seul morceau avec l'ogive

(1) Brevet Buisset du 30 avril 1887.

Digitized by Google

ou pointe du mandrin; elle porte à sa partie supérieure un trou pour recevoir la clavette en fer B qui donne le serrage aux segments C entre l'ogive et la rondelle E qui reçoit le choc du marteau-pilon.

Un tube en acier F porte des renflements en forme de pattes de crapaud G, pour faire serrer à fond tous les segments C contre les portées H qui déterminent le diamètre; une clavette en bois L, qui est conique, sert à maintenir ce serrage pendant le martelage.

Pour obtenir un bon serrage avant de placer la clavette L, on place une plaque J sur la tête de la tige A, et deux petites tiges filetées font serrage pour amener le mandrin creux en face des trous de la clavette; on emmanche provisoirement une clavette en fer L bien conique pour forcer toutes les portées à joindre; on serre avec une clef les deux tiges pour sortir la clavette provisoire, que l'on remplace par celle définitive en bois; on sort ensuite les tiges et la plaque, et le mandrin se trouve articulé en tous sens.

Au mandrin ainsi composé, on applique à sa face extérieure une chemise en toile amiantée, prenant parfaitement sa forme; elle a pour but d'empêcher ce mandrin de se chauffer trop rapidement au contact du métal; elle est retenue à sa partie supérieure par un fil de fer.

Le mandrin est ensuite placé dans la lingotière O, en laissant la hauteur nécessaire, environ 15^{cm}, entre la pointe du mandrin et la lingotière, pour obtenir une compression suffisante de l'acier en vue de souder toutes les molécules et éviter toutes les soufflures; il est retenu sur le dessus de la lingotière par trois petits rondins de bois qui se brisent au premier coup de marteau.

On coule l'acier dans les coulées P, ménagées au haut de la lingotière, et cette dernière est frettée, sur sa hauteur, de trois cercles de fer emmanchés à chaud. Deux trop-pleins Q sont réservés pour laisser échapper les gaz et le laitier de

Digitized by Google

l'acier, qui retombe dans de petites lingotières; on obtient ainsi un acier pur sans aucune défectuosité. On forge immédiatement après la coulée en frappant en même temps sur le mandrin et sur la rondelle R, et, aussitôt le dernier coup donné, on chasse la clavette B le plus rapidement possible pour la faire sortir entièrement de la rondelle E et du mandrin, de manière à supprimer le serrage contre les parois hautes et basses des segments; puis, au moyen d'une rondelle de hauteur qui vient s'appuyer sur la tige A, un coup de marteau est donné pour casser la clavette en bois L, et le tube en acier F dégage ses pattes à crapaud G pour tomber dans les parties évidées S des segments C, les rapprocher de l'axe et permettre aux segments C d'être entièrement libres. Le retrait peut ainsi s'opérer sans résistance.

Pour les ébauches de culots d'obus rapportés, on opère dans des lingotières avec des mandrins de forme recevant l'action d'un pilon ou d'une presse.

Une lingotière A pour le matriçage de neuf pièces à la fois est placée sur une enclume B qui pivote à volonté sur une chabotte *(fig. 67 et 68)* (1).

Des taquets d'angle fixent la lingotière à l'enclume.

On coule le métal par la coulée E qui est disposée en siphon. Les mandrins F sont retenus par trois ou quatre chevilles en bois; toute la coulée est réunie par des entailles sous la lingotière, lesquelles donnent lieu à des liaisons que l'on découpe ultérieurement à la poinçonneuse.

Pour le forgeage, on emploie soit un marteau-pilon, soit une presse.

On laisse une surépaisseur de 6 à 7^{mm} pour parachèvement de la pièce en tous sens aux machines qui opèrent à chaud par plusieurs passages dans les mandrins finisseurs.

(1) Brevet Buisset du 30 avril 1887.

Digitized by Google

Plaques de cuirassement ou blindages.

Les blindages sont des plaques servant à constituer des armatures, des revêtements ou des enveloppes d'engins de défense militaire.

Ces plaques s'appliquent sur les parois extérieures des vaisseaux de guerre dans les parties accessibles aux projectiles *(fig. 1, 2 et 3, pl. 46)*; elles protègent les fortifications des côtes, des forts; elles forment les tourelles, les coupoles abritant les canons *(fig. 4)*, les phares cuirassés à éclipse pour éclairer les abords des forts *(fig. 5)*.

Les puissants projectiles dont l'artillerie dispose aujourd'hui exigent que ces plaques soient très résistantes à la pénétration, sans se briser ou se déchirer *(fig. 6 et 7)* sous l'action du choc et de la puissance vive du projectile.

Les blindages se font de toute épaisseur à partir de quelques centimètres jusqu'à $0^m,60$ et plus. Lorsqu'ils sont employés pour les forts et qu'ils sont exécutés en acier coulé ou en fonte, l'épaisseur atteint 1^m. Les petites épaisseurs ($0^m,02$ à $0^m,04$) servent à protéger certains ouvrages contre les petits projectiles (balles).

Nous n'avons à considérer que les plaques construites en fer soudé, en fer fondu, en acier, en fer et acier ou métal mixte dit *compound*.

Les plaques de cuirassement sont d'application très ancienne. D'après Strabon, les Carthaginois en recouvraient leurs vaisseaux. Les Normands du XIIe siècle consolidaient également certaines parties de leurs bateaux (1). On cite (1530) la caraque blindée de plomb des chevaliers de Saint-Jean de Jérusalem.

Dès les premières applications de l'artillerie, on songea à protéger les canonniers, et le blindage se présente comme le complément de la bombarde ou du canon, comme en témoi-

(1) *Génie Civil*, tome XV, 1889. Étude de M. E. Weil.

Digitized by Google

gnent des anciens dessins de canons blindés, de canonnières armées de ces canons et protégées elles-mêmes par des armatures métalliques (1).

On retrouverait d'autres exemples dans les transformations de la construction navale et des engins de défense des places fortes.

En 1845, Dupuy de Lôme proposait l'emploi de tôles superposées formant une épaisseur de 166^{mm}, pour revêtir les vaisseaux dits cuirassés.

C'est en 1854 que l'on mit en chantier les premiers cuirassés pourvus de plaques de fer de 110^{mm} sur les parties susceptibles d'être atteintes par les projectiles.

Successivement, la puissance des projectiles fit augmenter l'épaisseur du revêtement métallique.

MM. Petin et Gaudet furent les premiers, en Europe, à fabriquer des blindages.

Leurs premières plaques furent appliquées aux cinq batteries flottantes livrées pendant le siége de Sébastopol (1855). Elles étaient en fer et avaient été forgées au marteau-pilon.

Dès 1858, voulant fabriquer économiquement les pièces de grandes dimensions (10^{m} de longueur, $1^{m},50$ de largeur, $0^{m},10$ à 0,15 d'épaisseur), ils appliquèrent le laminoir de la puissance la plus considérable qui existât alors (2).

Ils armèrent de nombreux vaisseaux de divers États et conservèrent longtemps le meilleur renom à leurs produits.

A la même époque, en Angleterre, divers établissements livraient des blindages pour navires.

On cite, à l'Exposition de Londres en 1862, Brown présen-

(1) Manuscrits de l'époque. *(Cours d'artillerie)*. (*Revue industrielle*, 19 décembre 1885, page 508) :

Batteries flottantes, construites en 1782 par le chevalier d'Arçon en vue du siège de Gibraltar, dont les bordages étaient renforcés par des barres de fer.

(2) A cette époque, les Petin et Gaudet étaient considérés comme les premiers forgerons du monde.

Digitized by Google

tant une plaque de 6^{m},60 de longueur, 1^{m},27 de largeur et 0^{m},165 d'épaisseur pesant 10.000^{kg}.

La Mersey et Cie exposait un blindage de $6,470 \times 1,900 \times 0,140$ pesant 13.200^{kg}. Cette pièce, considérée comme un produit excellent, avait été forgée au pilon.

En 1867, les fortes plaques mesuraient 0^{m},22 d'épaisseur avec un poids de 15^{t}.

En 1874, l'épaisseur est de 0^{m},30 et le poids de 24^{t}. En 1878 on atteint 0^{m},70 d'épaisseur et un poids de 30^{t} qui se rapportent à une plaque de fer puddlé présentée par MM. Marrel : longueur 4^{m},25, largeur 1^{m},60, épaisseur 0^{m},715 ; poids 30.022^{kg}.

Dans ces dernières années, l'épaisseur de 0^{m},70 a été dépassée avec un poids de plus de 60^{t} (1). Les fortes épaisseurs, 0^{m},50 à 0^{m},60, sont appliquées aux coupoles de forts, lesquelles pèsent jusqu'à 150^{t}. Les ceintures de navires ont des épaisseurs de 0^{m},20 à 0^{m},35; les éléments pèsent de 20 à 50^{t}. Celles pour parois au-dessus de la ligne de flottaison, pour les entreponts, les revêtements de ponts, pour les tourelles ou coupoles de canons, etc., ont des épaisseurs plus faibles, variables depuis 0^{m},040 et au-dessus.

Ainsi le cuirassé moderne le *Jauréguiberry* a des plaques de 0^{m},45 en ceinture, de plus de 2^{m} de hauteur, s'étendant de l'avant à l'arrière. Au-dessus de cette ceinture et sur toute la longueur du navire, règne une cuirasse plus mince, 0^{m},080, protégeant, sur toute sa hauteur, l'entrepont contre l'action des obus explosifs. Le pont, cuirassé à 0^{m},100, est complété par un pare-éclats. L'ensemble des revêtements pèse plus de 4.000^{tx}.

Dans le bâtiment *figures 1, 2* et *3*, modèle récent de la marine anglaise, on a adopté une ceinture de 0^{m},457 sur environ les deux tiers de la longueur; deux cloisons transversales blindées

(1) Krupp présentait à l'Exposition de Chicago (1893), une plaque en acier-nickel cémenté de 62^{t} : longueur 8^{m},30, largeur 3^{m},10, épaisseur 0^{m},40.

Les Aciéries de Bethléem exposaient une plaque ayant pulvérisé cinq obus en acier Holtzer de 0^{m},20 de diamètre, du poids de 112^{kg}, lancés avec une vitesse de 510^{m} par seconde.

Digitized by Google

séparent du reste du bâtiment la portion ainsi cuirassée et complètent la protection des deux tourelles barbettes blindées à 0^m,400 qui se trouvent à l'avant et à l'arrière de ce caisson cuirassé. Entre les deux tourelles, la partie centrale du bâtiment est protégée par une cuirasse mince de 0^m,127. Un pont cuirassé de 0^m,070 recouvre toute la partie centrale à la hauteur du can supérieur de la cuirasse épaisse.

L'emploi de la mélinite a fait modifier la répartition des cuirasses; elles se sont développées sur les ponts en couches d'épaisseurs variables de 10 à 60^{mm}; on a réduit l'épaisseur de la cuirasse extérieure à 0^m,250 au lieu de 0^m,550 (1).

On peut juger par quelles transformations successives a dû passer l'outillage des forges pour arriver à manipuler des pièces aussi considérables, pour donner à ces plaques de fer ou d'acier le maximum de ténacité, de résistance au choc.

Elles ont déterminé l'emploi des plus gros marteaux, des plus puissants laminoirs et des plus énergiques presses hydrauliques.

Le canon et le projectile développant une puissance croissante, la défense augmente la résistance des ouvrages protecteurs.

L'industrie est tenue de transformer continuellement ses procédés de fabrication, d'augmenter son outillage qui doit mettre en œuvre des masses de plus en plus grandes.

L'outil de la veille devient insuffisant, il faut le reléguer à des travaux devenus d'importance secondaire, il faut lui substituer un nouvel outil plus important; et c'est ainsi que progressivement les pilons de 25^t (2) ont été remplacés par ceux de 50, 80, 100^t, et tout dernièrement par celui de 125^t (3), le plus puissant de nos jours, installé à Bethléem (États-Unis) en

(1) Dans le cuirassé *Iéna*, en construction à Brest, la ceinture a une épaisseur réduite à 0,320 par suite de l'emploi de plaques cémentées dites aussi harveyées.

(2) Puissance maximum en 1855. Usine de Rive-de-Gier (Marrel frères).

(3) Cet outil fonctionne depuis 1891; il est spécialement utilisé pour la fabrication des blindages des gros canons, des arbres coudés, des arbres creux.

Digitized by Google

vue du martelage des blindages, des gros canons en acier forgé et du forgeage de lingots pesant de 50 à 150^t. De même, les plus fortes presses hydrauliques atteignaient, il y a quelques années, une puissance de 4.000 à 6.000^t; certaines développent aujourd'hui 10.000^t 14.000^t (1) et tendent à détrôner, sinon à remplacer le marteau pour le travail des grosses pièces d'acier.

Les laminoirs prennent aussi des proportions étonnantes pour le travail des gros blindages.

On conçoit que la fabrication de ces engins de défense a plus que jamais une influence prépondérante sur les progrès et le développement des procédés métallurgiques.

Les plaques de cuirassement ont donné lieu à de nombreuses recherches pour obtenir le meilleur métal. Elles se font par martelage, par pressage, par laminage ou par la combinaison de ces procédés, chacun d'eux ayant ses avantages et ses inconvénients. Les propriétés de ductilité et de ténacité peuvent être données au fer par un martelage énergique soudant les éléments, puis par un laminage pour obtenir de la fibre.

Le fer fondu, l'acier plus ou moins doux, comprimés, pressés, laminés, présentent des qualités supérieures à celles du fer soudé, mais une dureté encore insuffisante à la surface, qui ne saurait prendre la trempe convenable que par une cémentation, une aciération plus prononcée, ajoutant aux difficultés de la fabrication.

(1) Presse de 14.000^t, installée tout récemment à l'usine de Bethléem (Pensylvanie) pour ébaucher les plaques de blindage, le marteau de 125^t devant les finir. Cette presse comporte deux cylindres hydrauliques de $1^m,270$ de diamètre recevant une pression hydraulique de 500^{kg} par centimètre carré. Elle permet de répartir la pression inégalement sur les étampes de manière à forger les plaques d'épaisseur variable sans emploi d'étampes spéciales. Les étampes et enclumes sont manœuvrés par pistons hydrauliques. Les sommiers pesant 386^t ont été construits en deux pièces; pour les relier, 18 boulons en acier de $0^m,150$ de diamètre ont été chauffés à une température telle qu'après serrage des écrous, puis refroidis, ils supportent une tension de 14^{kg} par millimètre carré. Les quatre tirants ou colonnes ont 14^m de longueur et $0^m,66$ de diamètre.

(Pour plus de détails, consulter note de M. Chômienne, *Bulletin technologique*, mars 1894 : Extrait de *The Iron Age* du 13 juillet 1893.)

L'emploi d'aciers spéciaux a permis d'améliorer la qualité du métal en vue d'obtenir des plaques qui résistent au choc en se déprimant sans se criquer, ni se gercer, sans présenter de larges fissures radiées, sur la face arrière, dénotant la fragilité.

Les essais ont montré que les projectiles destinés à l'attaque des armures en métal doux doivent être en métal dur; ainsi, les boulets en fonte percent les blindages en fer avec facilité.

Au contraire, pour les blindages en métal dur, il faut un projectile en métal tenace et plus ou moins dur. Trop dur, il se brise sans entamer le blindage; résistant et ductile, il pénètre la paroi.

Les plaques de blindage dites compound ou mixtes de 460^{mm} d'épaisseur sont traversées par les obus en acier Holtzer de 343^{mm}, le projectile parcourant encore après la traversée 1.500^{m} et se trouve aussi net que s'il sortait du tour.

Cet exemple montre bien la puissance de pénétration et de résistance que possèdent les engins d'attaque.

On cite encore : qu'un projectile Holtzer en acier forgé de 0^{m},30 a traversé un blindage compound de 0^{m},40 et a pénétré de 0^{m},13 dans une plaque de fer de 0^{m},25 d'épaisseur placée derrière le blindage.

L'artillerie obtient aujourd'hui des vitesses de 1.000^{m} avec des projectiles pesant 3^{kg}, la pression atteint 3.000^{kg} par centimètre carré. Avec des projectiles de 40^{kg} et une vitesse de 800^{m}, la pression atteint 2.500^{kg}.

En 1876, dans les essais comparatifs exécutés à la Spezzia, les plaques d'acier extra-doux traitées par la trempe superficielle et le recuit, et présentées par le Creusot, accusèrent des qualités de résistance les plaçant en première ligne.

En 1879, les Anglais tenaient le premier rang avec les plaques mixtes formées d'une couverture d'acier très dur, soudée sur un sommier plus ou moins épais de fer soudé ou de fer fondu, ou d'acier très doux.

Ces plaques répondaient aux meilleures conditions de résis-

Digitized by Google

tance : grande dureté pour briser le projectile et ductilité pour résister aux déformations déterminées par l'action du choc.

Dès 1880, le Creusot reprend le premier rang avec ses blindages en acier-nickel durci, qui restent impénétrables aux boulets en acier chromé. Cette supériorité, avec des produits perfectionnés, s'est encore montrée dans des essais récents, qui ont été un légitime succès pour ce grand établissement métallurgique.

Actuellement, les marines adoptent d'une façon générale les plaques d'acier composite surcarburé par cémentation d'un côté, opération préconisée en 1891 par M. Harvey, et qui permet de tremper à l'eau glacée pour obtenir une extrême dureté, sans crainte des tapures.

Plaques en fer.

Les plaques de faible épaisseur se façonnaient par les procédés ordinaires de fabrication des tôles.

Pour les grosses épaisseurs on appliquait le procédé général de formation des grosses pièces, consistant à souder, à laminer des paquets de mises ou de riblons choisis.

Par exemple, s'il s'agissait de faire une plaque ordinaire de 5^t : on étirait des barres de $0^m,300 \times 0^m,025$ que l'on coupait à $0^m,80$. Cinq de ces barres étant superposées et soudées, on en formait une tôle grossière dite table. Deux tables étaient soudées et réduites en une autre de $0^m,40$ d'épaisseur et $1^{m^2},200$ de surface. Quatre de ces tables superposées, soudées et laminées donnaient une plaque de $2^m,50 \times 1^m,20 \times 0^m,60$. Quatre de ces dernières formaient une nouvelle masse, qui, laminée, donnait une plaque de 110^{mm} d'épaisseur, ainsi constituée par 160 épaisseurs de plaques dont chacune avait à l'origine $0^m,25$ d'épaisseur, soit une réduction de 1/35 de l'épaisseur primitive.

Dans une telle opération, 1.000 à 1.200^{m^2} de surface de métal devaient être soudés.

Digitized by Google

Il n'est pas étonnant que des défauts de soudure se produisaient.

L'opération finale était délicate pour achever le soudage à la température convenable et empêcher les bords de brûler dans le four à réchauffer.

Parfois, après le laminage, la plaque était placée sur une table en fonte et un gros cylindre de 10 à 12^{t} roulait dessus pour faire disparaître les ondulations ou inégalités de laminage.

La régularisation exigeait l'enlèvement de $0^{m},010$ à $0^{m},030$ d'épaisseur suivant les conditions d'emploi et de finissage.

Un procédé analogue consistait à produire des barres méplates de $0^{m},300$ à $0^{m},500$ de largeur que l'on recoupait en bouts pour former de nouveaux paquets que l'on soudait au pilon; laminées de nouveau en barres plates analogues aux précédentes, remises en paquet et laminées, on obtenait une plaque dite *petit moule* qui était réduite en dimensions déterminées. Un certain nombre de ces plaques superposées, soudées au pilon et au laminoir, donnaient une plaque plus épaisse ou *grand moule*. Enfin, plusieurs de ces grands moules réunis et laminés formaient une plaque d'épaisseur voulue.

En vue de réduire le façonnage, les paquets étaient formés de deux ou plusieurs plaques superposées entre lesquelles étaient disposées des barres laminées méplates ou carrées, ou des billettes de fer ou d'acier soudant, ou des barres de métal mixte de 20 à 40^{mm} d'épaisseur et de 100 à 400^{mm} de largeur, leur longueur variant avec les dimensions de la plaque à produire et suivant qu'elles étaient en long ou en travers. Ou encore ces billettes avaient des formes qui s'emboîtaient partiellement, qui s'accrochaient et donnaient lieu à des joints de raccord obliques assurant de bonnes soudures.

Les *figures 8* montrent les différentes dispositions de ces paquets, que l'on soudait au pilon ou au laminoir.

Les blindages en fer se fabriquaient encore de la manière suivante : Des mises de fer puddlé de $2^{m},50$ de longueur avaient

Digitized by Google

eurs bords longitudinaux en crochet, de façon à enchevêtrer les joints.

On formait un paquet pour couverte avec ces barres que l'on soudait d'abord sur les champs, afin d'assurer leur mise en place. Dans une première chaude donnée à la moitié du paquet on soudait les mises; puis, dans une deuxième chaude, on étirait cette partie en lui donnant une longueur égale à la largeur de la plaque et une épaisseur de $0^m,08$ à $0^m,10$. L'autre moitié du paquet était traitée de la même façon, en deux chaudes.

Le martelage se faisait de champ et sur plat, en ayant soin de frapper du milieu vers les bouts, pour éviter les dessoudures.

La brame était divisée en deux parties, chacune formant une couverte de la plaque. La partie centrale était constituée par trois brames de barres enchevêtrées, comprises entre deux feuilles de tôle, le tout soudé et étiré au laminoir.

Le paquet définitif était traité comme le paquet pour couverte, en quatre chaudes.

Le corroyage donnait lieu à des boursouflures que l'on perçait pour laisser échapper les gaz et les laitiers lorsqu'on soudait ces parties défectueuses.

Ces plaques avaient 5 ou 6^m de longueur. Elles étaient coupées par moitié pour former des longueurs ordinaires voulues.

Le déchet du sciage et les rognures représentaient un dixième environ du poids total.

On procédait ensuite à la trempe en portant les plaques à la température du rouge et en les plongeant dans une fosse pleine d'eau.

Le recuit succédant à cette trempe se faisait au rouge naissant; le refroidissement lent durait cinq à six jours.

Les plaques étaient achevées à l'ajustage et courbées à froid à la presse si la courbure était peu prononcée; l'opération était faite à chaud pour les fortes courbures.

Les plaques défectueuses étaient employées pour les couvertes de paquets. Leur proportion s'élevait à 1/10.

Digitized by Google

Les plaques laminées étaient constituées par des couvertes réunies en trousses avec les mises centrales. Chaque trousse se composait de barres biseautées de 80 à 100^{mm} de largeur sur 20 à 25^{mm} d'épaisseur. Afin d'atténuer les chances de soudures imparfaites, les barres étaient disposées en diagonale et alternativement dans chaque sens.

On soumettait les trousses à une première chaude modérée et on les passait quatre ou cinq fois entre les cylindres avant de chauffer au blanc soudant et de produire un étirage prononcé en vingt à vingt-cinq passages.

Les plaques de largeur uniforme étaient étirées au laminoir à quatre cylindres; les bords longitudinaux étaient ainsi réguliers et les deux bouts sur la longueur étaient seuls affranchis à la scie circulaire.

Après sciage, la plaque refroidie au rouge très sombre était trempée à l'eau, puis elle subissait le recuit (1).

Les difficultés pour obtenir une bonne soudure des nombreuses mises de fer ou d'acier (puddlé ou fondu) sont d'autant plus grandes que l'épaisseur est plus forte et que les autres dimensions le sont aussi. Les plaques s'exfolient sous le choc du projectile. les soudures ne tiennent pas et montrent que les scories ne sont pas suffisamment expurgées.

L'emploi du fer fondu, de l'acier doux ou mi-dur a simplifié la formation de l'ébauche (2). Il suffit de couler debout un lingot de dimensions appropriées qui tiennent compte des déchets, chutes, parties découpées. Le lingot est plat, rectangulaire ou trapézoïdal *(fig. 9 et 10)*.

Il est ou non soumis à une compression en lingotière à l'état liquide lui assurant une plus grande homogénéité.

(1) A l'usine de Saint-Chamond (Petin et Gaudet), les premiers laminoirs à blindages exigeaient une force de 200 à 300 poncelets.

La machine était réversible et faisait 60 tours par minute. Le laminoir produisait jusqu'à 50^{t} de blindages par jour.

(2) C'est vers 1877 que le fer fondu et l'acier doux furent adoptés en France. L'Exposition de 1878 présentait des échantillons de lourdes cuirasses en métal Martin.

Digitized by Google

L'acier doux est appliqué particulièrement aux cuirassements de pont des navires, aux calottes des coupoles de canons, parties exposées au tir rasant et qui doivent supporter le choc en s'emboutissant sans se déchirer.

On a aussi produit des blindages en fer fondu laminé en barres dont on formait des paquets que l'on soudait dans de bonnes conditions.

Le principe de la production des plaques en empilant et soudant ensemble du fer de lingot, au lieu de les former d'une seule pièce, était fondé sur la crainte que si le lingot unique présentait quelque défaut, les plaques que l'on en obtiendrait seraient défectueuses et rebutées; d'autre part, quand différentes mises sont soudées ensemble, un défaut existant dans l'une d'elles n'a pas une si grande influence que si le défaut existe dans une épaisseur venue seule.

Néanmoins, cette méthode si compliquée de la mise en paquet et du soudage de nombreux éléments n'est plus suivie.

Signalons aussi que Whitworth (1878) a obtenu de bons résultats avec des blindages en acier comprimé à l'état liquide et composés de surfaces hexagonales *(fig. 11)* dont chacune est constituée par une série de frettes concentriques enserrant un disque central. Le but de cette disposition est d'empêcher la production de longues fissures que déterminent les obus dans les plaques provenant d'un seul lingot homogène.

L'acier doux, présentant une grande malléabilité également, et une résistance plus élevée que celle du fer fondu, donne de meilleurs résultats.

Les blindages peuvent encore subir, sans exiger de minutieuses précautions et pour les fortes épaisseurs, les déformations, les courbures plus ou moins prononcées imposées par la forme des navires. De plus, en cémentant le côté d'attaque, on peut produire une trempe superficielle tout en conservant à la masse sa ductilité; on peut ne donner une assez grande dureté qu'à l'extérieur tout en préservant de la fragilité.

Digitized by Google

On emploie aussi l'acier de variété assez dure pour présenter une grande résistance à la perforation et prendre également une trempe extérieure sans craindre de tensions intérieures trop fortes. Ces plaques peuvent sans difficulté être préparées sous des épaisseurs atteignant $0^m,10$ à $0^m,15$. Elles conviennent pour ceintures de croiseurs, pour plaques de pont, toitures de coupoles, œuvres légères d'un cuirassé.

Les blindages en acier donnèrent lieu, au début de leur fabrication, à de grandes irrégularités dans la qualité; ils présentaient souvent des tensions intérieures anormales, des fissures internes ou externes, des tapures, des ruptures spontanées après trempe.

Pour parer à ces éventualités, on adopta des plaques en métal mixte formé d'une masse de fer soudée avec une couverture d'acier dur.

La partie en fer formant sommier donne de la ductilité à la pièce, prévient la propagation des fissures à travers l'épaisseur: la partie en acier a pour but principal de résister à la pénétration en assurant la rupture des projectiles.

On distingue divers procédés de constitution de ces plaques mixtes dites compound : celui dû à M. Wilson (1) comprend la fabrication d'un sommier en fer puddlé, obtenu au laminoir en soudant un certain nombre de fortes tôles. Sur ce sommier porté à haute température dans un four, on coule une épaisseur d'acier; la pièce est ensuite passée au laminoir et corroyée avec pressions énergiques pour souder les parties. On adopte une épaisseur d'acier égale au tiers de l'épaisseur totale.

Un autre procédé (2) consiste à couler de l'acier fondu dans un enclos formé par une plaque de fer A *(fig. 12)* une couverte supérieure C en acier très dur et des parois latérales B.

---

(1) Procédé appliqué en premier lieu, vers 1878, à l'usine du Cyclop (Cammel et Cie), directeur M. Wilson.

(2) Procédé Ellis (Sheffield), Manufacture of Armour Plates (Brevet du 7 septembre 1880).

Digitized by Google

L'acier coulé, devenu pâteux, est soudé aux plaques A et C portées à la température convenable, entre cylindres qui la corroyent, la laminent aux dimensions.

On obtient, ainsi, sur la face avant de la plaque, une épaisseur que l'on peut tremper assez fortement, les autres parties restant douces, ductiles. La résistance à la pénétration d'un projectile est augmentée dans une grande proportion tout en assurant une résistance voulue aux actions de déchirement ou de propagation des fissures dans toute l'épaisseur.

Les plaques compound ont fait place à celles en acier homogène, et depuis 1885, l'acier au nickel est le plus recherché (1).

Notons, qu'avec l'acier au nickel laminé en tôle, on est arrivé à produire un métal donnant une résistance de 70 à 80^{kg} par millimètre carré, avec un allongement de 60 à 50 0/0.

Signalons encore que les forges de Terrenoire ont cherché à appliquer aux blindages l'acier coulé, auquel les recuits et les trempes répétées donnent des qualités de résistance et d'allongement comparables à celles de l'acier forgé.

Par la coulée, on peut aisément obtenir des surfaces extérieures ondulées telles que celles *figures 13* et *14* favorables à la déviation des projectiles. ou des plaques de forme courbe ou en V pour arêtes *(fig. 15* et *16)*; des plaques évidées *(fig. 17)* permettant d'attacher la cuirasse aux murailles du navire ou des fortifications, sans être traversée de part en part, par les boulons d'attache et de permettre l'introduction dans l'évidement de matières devant arrêter le projectile. Les *figures 18* à *29* montrent des dispositions dans lesquelles la plaque est coulée avec des évidements cylindriques, qui sont ensuite remplis par des boulons constituant pour la plaque une véritable armature. La plaque étant fabriquée en métal très dur, les boulons sont

(1) Les teneurs en matières constitutives varient :

C	Ni	Mn	Si	Ph	S
0,3 à 1	2,3 à 4	0,7 à 1	0,5 à 1	0,02 à 0,07	0,01 à 0,02

Digitized by Google

fabriqués en fer ou acier doux et résistant, ce qui donne une plaque mixte. La plaque dure pourra être fendue par le projectile, mais les armatures empêcheront les fissures de se propager et les morceaux d'être projetés.

Les *figures 24* à *29* donnent une disposition pour mélanger à la coulée le fer et l'acier. On peut, par suite, obtenir par la combinaison des deux métaux une plaque compound, donnant tous les avantages de l'acier très dur et possédant la propriété du fer de ne pas se fendre au choc. Les plaques de fer associées à l'acier coulé sont d'abord chauffées à haute température pour assurer la liaison et amener le retrait des deux métaux à se faire de la même manière.

Les blindages en acier ou en métal combiné, considérés comme les plus résistants, se laissaient entamer ou traverser par les projectiles en acier fondu forgé (acier Holtzer au nickel).

Afin que le dégât soit partiel sur la partie atteinte, on a cherché à donner au métal très résistant et très ductile dans la masse entière, une dureté superficielle capable de briser les projectiles d'acier.

La résistance et la ductilité ont été obtenues par des alliages de chrome et de nickel.

La dureté superficielle est produite par une forte cémentation du côté attaqué et par la trempe dure.

Ce n'est qu'en ces dernières années, que la cémentation ou carburation plus prononcée de l'acier du côté attaqué a donné des résultats satisfaisants. La cémentation, pratiquée le plus souvent à une température trop basse, était insuffisante et le métal ne prenait pas une trempe assez dure; ou bien, si le métal était assez aciéré, on déterminait la rupture en appliquant les procédés ordinaires de la trempe.

Appliquée par Harvey aux usines de Bethléem (États-Unis), la cémentation suivie d'une trempe assez forte a permis de réaliser des progrès importants dans la fabrication des blin-

Digitized by Google

dages; elle a donné d'excellents résultats. Des plaques d'acier-nickel cémentées ont réussi à briser les projectiles en acier-nickel qui les attaquaient.

Les essais de ces dernières années semblent avoir assuré l'emploi exclusif des aciers au nickel de préférence aux autres. Les plaques avec teneur de nickel et de chrome sont moins fragiles que celles à teneur exclusive de nickel. Cet acier permet de diminuer les épaisseurs et par suite de réaliser une grande diminution de poids. C'est celui qui résiste le mieux à l'attaque des projectiles, tout en se laissant, cependant, traverser par ceux-ci lorsque la vitesse est suffisante.

Les plaques Harvey peuvent arrêter des projectiles tirés avec une vitesse dépassant de 20 à 25 0/0 celle qui correspond à la perforation de l'acier ordinaire, ou de 60 à 65 0/0 celle qui correspond à la perforation du fer.

Cependant les essais sur plaques cémentées de faible épaisseur, moins de 20^{mm}, ne donnent pas des résultats aussi favorables. Les usines américaines ont été des premières à adopter le procédé de cémentation d'une manière courante.

De nombreuses recherches se font d'une façon continue dans les grandes forges, pour obtenir un métal satisfaisant aux qualités que l'on exige pour les blindages.

La résistance demandée exclusivement au carbone donne lieu à une fragilité qui se traduit par des tapures, des fentes à la trempe.

On a cherché, en dehors de l'influence du carbone dont la teneur atteint jusqu'à 0,5 0/0, les conditions de résistance et de ténacité toujours plus grandes que l'on réclame pour les blindages.

En ces dernières années, on a préconisé le métal contenant moins de 0,4 0/0 de carbone, 2 0/0 de nickel et 1 0/0 de chrome (1).

(1) Compagnie des hauts fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer. Brevet du 27 février 1891.

Digitized by Google

Pour les plaques mixtes, les teneurs en carbone, nickel, cobalt, manganèse et chrome, peuvent atteindre des chiffres sensiblement plus élevés, de 4 à 10 0/0 et plus.

Le métal ainsi constitué se prête particulièrement bien aux opérations de trempe et de recuit; il permet, par exemple, pour les blindages homogènes en acier, de réaliser la trempe à l'eau.

La fabrication des plaques en acier forgé peut comprendre :

La préparation au four Martin Siemens d'une masse d'acier dont le poids est proportionné à celui de la plaque à obtenir. Les lingots sont coulés debout, avec forte masselotte, aussi gros que possible, et on les débite, s'il est nécessaire, pour produire deux ou plusieurs plaques. Afin de juger de l'état du métal par la cassure, le lingot est saigné sur ses faces de plat, à la raboteuse, puis brisé au pilon. Les dimensions des plaques de ceinture sont ordinairement de 4 à 7^m de longueur, 2^m à $3^m,50$ de largeur (1), le poids variant de 35 à 50^t. Le lingot est soumis à plusieurs réchauffages et corroyages successifs donnant un rapport d'étirage de 3 à 4 ou plus. Pour les faibles et moyennes épaisseurs on opère de préférence au laminoir; pour les grosses, on emploie soit le laminoir de grande puissance, soit le pilon de grand poids, 50 à 125^t suivant la grosseur, soit la presse qui donne un travail plus rapide, plus facile à conduire et dont la force varie de 4.000 à 14.000^t.

Autant que possible, pour les fortes épaisseurs, on cherche à finir complètement à la presse. A Homestead (États-Unis), jusqu'à 150^{mm} d'épaisseur, les plaques sont laminées. Au-dessus, elles sont forgées à la presse modèle Whitworth qui se prête bien au travail sur les quatre côtés, alternativement deux à deux, et surtout quand les plaques sont de grande largeur.

La forme finale donne le plus souvent lieu à un cintrage ou à un gabariage, c'est-à-dire à une forme à double courbure

(1) Les plaques de ceinture du *Brennus* ont une hauteur de 2^m, une épaisseur de $0^m,40$. On cite des plaques Harvey de $3^m,60$ de largeur.

Digitized by Google

obtenue à la presse ou, à défaut, au pilon. La plaque subit ensuite un recuit dans un four spécial ou dans le four de réchauffage. Le dressage des faces de champ, des parties d'assemblage, des trous, etc., est ensuite fait à la raboteuse ou à la scie à froid suivant les cas.

La pièce étant usinée, elle subit, s'il y a lieu, la cémentation dans un four spécial. A la sortie, elle est trempée.

La plaque reçoit les diverses façons d'ajustage, de redressage ou de rectification motivées par les déformations de la trempe ou autres causes de montage (1).

Laminage des blindages en acier à l'état pâteux.

M. Buisset (2) a proposé d'ébaucher rapidement les blindages en opérant sur le métal à l'état liquide contenu dans une lingotière fermée, à parois mobiles, comme l'indiquent les *figures 30* à *35*.

La lingotière A est placée sur le tablier à rouleaux d'un laminoir réversible. Le métal contenu dans une poche P est versé par un orifice que l'on ferme dès que la lingotière est remplie, puis des pistons à vapeur, placés en avant et en arrière du train, agissent pour présenter la lingotière aux cylindres B et C, dont la rotation alternative et le serrage des vis de pression resserrent énergiquement le métal.

La lingotière A est refroidie pendant le laminage qui se fait à une vitesse de 15 tours par minute.

Les dispositions des parois de la lingotière sont telles, que dans une même lingotière, on peut fabriquer des plaques de longueurs variables, en déplaçant les bouchons FF serrés par les vis E et E′ actionnées par des engrenages DD′.

Il convient de laisser à la pièce une surépaisseur pour la

(1) Les blindages cémentés sont adjugés au prix de 2 francs à 2 fr. 50 c. le kilogramme. Ils donnent lieu à des commandes s'élevant à plusieurs millions de francs. Vers 1880, les blindages à acier doux se payaient 1 franc le kilogramme.

(2) Brevet du 30 avril 1887.

Digitized by Google

parer au laminoir ou l'achever au marteau-pilon dès son enlèvement de la lingotière.

Ce procédé n'est pas appliqué industriellement.

Blindages laminés.

Le laminage appliqué aux blindages, en 1858, par Petin et Gaudet, avait pour but d'achever les pièces dont les paquets étaient soudés et ébauchés au pilon ou au marteau frontal (1).

Le procédé consistait à préparer du fer en balle que l'on étirait sous un pilon de 4^{t}, à constituer un paquet soudé et forgé sous un lourd marteau frontal pour l'étirer, puis le laminer en gros plats dont un paquet à mises croisées était soudé et laminé en moules. Plusieurs moules ou plaques de moyenne épaisseur, superposées et laminées, donnaient une plaque d'épaisseur voulue. Les premiers passages entre les cylindres comportaient des épaisseurs jusqu'à 0^{m},30.

Le laminage permettait d'opérer plus rapidement, plus économiquement que par le martelage, mais les soudures étaient mieux assurées avec ce dernier procédé qu'avec le premier.

Les petites plaques d'acier proviennent d'un lingot plat que l'on débite à la raboteuse ou à la scie. L'élément qui correspond à une plaque est laminé sur plat et sur champ au laminoir universel qui conserve au plus près la forme régulière; on a soin de passer la pièce en la changeant souvent de sens, tant que le permet la longueur.

Les gros blindages proviennent de lingots à section rectangulaire avec petites faces fortement bombées de manière à prévenir au laminage la formation de champs concaves, due à l'insuffisance de pression que produisent les cylindres de diamètre relativement trop petit, comparativement à l'épaisseur du lingot au début du laminage. Le bombement des grandes faces

(1) Les premiers blindages laminés vers la même époque en Angleterre, le furent dans les forges de Beale et Cie à Part-Gate (Yorkshire), puis par John Brown et Cie, de Sheffield.

Digitized by Google

est aussi favorable pour prévenir cet effet et augmenter le serrage à cœur, de sorte que la meilleure section devrait dériver de la forme elliptique. Les gros lingots ont des dimensions qui varient de $2^m,50 \times 1^m,20$ à $2^m \times 1^m$, la longueur étant de 3 à 4^m. Le poids de la masselotte est d'environ le cinquième du poids total, et celui de la lingotière de la moitié ou plus. Ainsi un lingot dont le poids total est de 70.000^{kg} a une masselotte de 14.000^{kg} et une lingotière de 40.000^{kg}.

Les plaques de moyenne épaisseur sont laminées au train universel réversible, comprenant deux cylindres horizontaux et quatre cylindres ou galets verticaux, dont deux en avant et deux en arrière, commandés par des arbres munis de pignons engrenant avec une même roue montée sur le cylindre horizontal inférieur, comme l'indiquent les *figures 1* à *7*, *planche 47*. L'emploi de quatre galets verticaux permet de guider les plaques le plus longtemps possible et de supprimer tout appareil pour faire joindre le paquet au retour.

Les boîtes ou chariots des galets sont munis de plaques de garde, qui servent à guider le paquet dans son laminage.

Ces plaques de garde ont l'avantage de pouvoir fonctionner avec les cylindres verticaux, et de supprimer tout appareil de guidage en avant et en arrière du train.

Le mouvement des embrayages se fait par cylindre à vapeur, au moyen d'un manchon calé sur la tige du piston et commandant un levier, ou par traction directe avec traverse, comme l'indique la *figure 2*. Ce train à blindages et à fortes tôles comporte un moteur de 400 à 500 poncelets.

Les *figures 8* à *17* se rapportent au laminoir universel des forges de Châtillon et de Commentry (1).

Les cylindres horizontaux ont 1^m de diamètre à la table et $5^m,80$ de longueur, avec un poids total de 30.000^{kg} chacun. Les cages ont $4^m,30$ d'écartement et $4^m,70$ de hauteur.

(1) *Génie Civil*: *La Compagnie de Châtillon et Commentry à l'Exposition de 1889*, par L. Baclé.

Digitized by Google

Le cylindre supérieur est seul mobile verticalement; sa levée permet de laminer des lingots de $1^m,20$ d'épaisseur que l'on peut porter exceptionnellement à 2^m, par quelques modifications des cages *(fig. 9, 10 et 11)*.

Le cylindre supérieur est équilibré par des contrepoids logés sous la plaque de fondation.

A cause des grandes levées du cylindre supérieur, la disposition primitive (qui devrait être abandonnée dans la plupart des laminoirs) de l'allonge de raccord de l'arbre de la cage à pignons avec le cylindre supérieur, a été remplacée par un mécanisme très simple, qui conserve à l'allonge sa position horizontale dans toutes les positions du cylindre supérieur. A cet effet, le pignon inférieur P *(fig. 14)* monté sur l'arbre du cylindre inférieur C, commande le pignon P′ monté sur l'arbre à allonge du cylindre supérieur C′ par l'intermédiaire de deux roues S et S′.

L'axe de la roue S est maintenu dans des coussinets fixes, tandis que l'axe de la roue S′ a des coussinets qui se déplacent à volonté dans une coulisse concentrique avec l'axe de la roue S, de manière à toujours assurer l'engrènement des roues S et S′ d'une part, et celui des roues S′ et P′ d'autre part, lorsque P′ monte ou descend en suivant les déplacements du cylindre C′.

L'emploi des deux roues S et S′ donne ainsi la rotation de C′ dans le sens inverse de celle que possède P. Pour les faibles levées, les roues occupent les positions relatives *(fig. 14)*; pour les fortes levées les roues sont disposées comme *figure 11*; il s'ensuit que la roue S′ se rapproche ou s'éloigne, la position de plus grand écart de S′ correspondant à celle pour laquelle la tangente aux cercles primitifs est verticale.

L'axe du pignon P′ est relié par une bielle à celui de la roue S′, afin de maintenir leur écartement constant. Le déplacement vertical du pignon P′ est obtenu, comme pour le cylindre C′, au moyen de deux vis que l'on actionne pour maintenir l'horizontalité des arbres et de l'allonge sur une même direction.

Digitized by Google

Les cylindres verticaux, disposés sur l'avant du train, ont $0^m,500$ de diamètre et $1^m,300$ de hauteur de table. Ils pressent le lingot latéralement de manière à prévenir l'affaissement exagéré des parties superficielles ou le creusement des faces latérales, tout en maintenant une pression plus uniforme dans la masse très épaisse et dont l'épaisseur de $1^m,20$ ne saurait être suffisamment pressée par les cylindres pour déterminer un renflement latéral au lieu d'un déplacement évasant les arêtes supérieure et inférieure.

Cette déformation montre bien que, pour le début du laminage, le diamètre des cylindres est trop faible par rapport à l'épaisseur du lingot.

Ces cylindres ont leur mouvement de rotation en relation avec celui du cylindre inférieur au moyen d'un harnais d'engrenages.

De chaque côté du train sont disposées des tables à rouleaux recevant la pièce à chaque passage. Entre les tables sont disposées deux coulisses en fer pouvant prendre un mouvement de va-et-vient sous l'action d'un piston hydraulique placé sous le plancher. La pièce est entraînée dans le mouvement par des crochets à talon que l'ouvrier engage dans l'un des trous de la rangée dont la coulisse est percée sur toute sa longueur, et elle vient ainsi se présenter et s'engager entre les cylindres qui sont à rotation réversible.

Le changement de rotation est déterminé par un mécanisme placé entre la cage à pignons et le moteur : il se compose de deux groupes formés de deux et trois pignons de diamètres égaux, disposés dans deux cages et qui entrent en jeu alternativement suivant le sens de la rotation. L'embrayage et le débrayage des manchons des pignons sont obtenus par l'action de pistons hydrauliques.

Pour permettre le laminage des plaques dites de « diminution », c'est-à-dire présentant une section pentagonale demandée actuellement pour la ceinture des navires, le laminoir est muni

Digitized by Google

de la disposition spéciale *(fig. 15 et 16)*, qui permet d'obliquer le cylindre supérieur rapidement. A cet effet, les vis de pression de ce cylindre sont commandées par des roues hélicoïdales engrenant avec des vis sans fin montées, l'une sur un arbre horizontal T *(fig. 17)*, actionné par un petit moteur spécial; l'autre sur un arbre T′ en prolongement de T. Sur l'arbre T est monté fou un pignon 1; sur T′ est calé un pignon 4. Ces deux pignons engrènent avec deux roues montées sur un arbre intermédiaire, et ces couples d'engrenages ont un même nombre de dents deux à deux de manière à ne pas faire varier la vitesse des arbres.

Sur l'extrémité de l'arbre T est calé un manchon à déplacement suivant l'axe de l'arbre, de manière à embrayer à volonté l'une ou l'autre des roues 1 ou 2.

Quand le manchon est dans sa position moyenne, l'arbre T tourne sans action sur le mécanisme; une seule vis de pression fonctionne.

Lorsque le manchon, déplacé par le levier N, attaque le moyeu 2 de la roue 1, le mouvement de l'arbre T se transmet par les roues intermédiaires et les deux vis de pression, tournant en sens contraire, obliquent rapidement le cylindre supérieur.

Quand le manchon attaque le moyeu 3 de la roue 4, la liaison de T et de T′ est directe et les deux vis de pression tournent dans le même sens, élevant ou abaissant le cylindre supérieur parallèlement à sa position horizontale ou oblique. L'inclinaison du cylindre est indiquée par une aiguille M se déplaçant devant un cadran C gradué.

Train à blindage du Creusot.

Le train à blindage du Creusot *(planche 48)* est actionné par une machine puissante à changement de marche, à commande directe. La machine motrice A a une puissance de 2.250 poncelets. Le lingot est chauffé dans un four I à proximité du laminoir. Il est enlevé du four par un engin de chargement H pouvant porter 40^{t}, suspendu au crochet d'un chariot roulant G

Digitized by Google

de 60^{t}, qui transporte la masse au train et la dépose sur les tables C à rouleaux. Ceux-ci sont actionnés par un moteur spécial à vapeur M. Les cylindres de ce laminoir tournent à raison de 26 à 34 tours par minute, ils ont un diamètre de 0^{m},930 et une longueur de 3^{m} avec écartement de 0^{m},750 le serrage est indiqué par un cadran. Pour le laminage trapézoïdal, le cylindre supérieur est à portées sphériques.

D'un côté se trouve, un appareil de retournement F de 40^{t} et de chaque côté les tables à rouleaux sont pourvues d'un appareil récepteur hydraulique D et de ripeurs E. Grâce à ces appareils auxiliaires, la manutention de la plaque est facilitée et rendue possible.

Il existe des laminoirs encore plus puissants : ainsi, le laminoir de Krupp à Essen comporte des cylindres de 4^{m} de longueur de table, de 1^{m},70 de diamètre pouvant s'écarter de 1^{m},30.

Les usines de Vickers, à Sheffield, possèdent un laminoir d'installation récente amenant en une chaude des lingots de 700^{mm} d'épaisseur à 150^{mm}. C'est un duo dont les cylindres en acier forgé ont 0^{m},80 de diamètre sur 3^{m},60 de longueur de table, vis de 250^{mm}, pour régler la pression et actionnées par un moteur auxiliaire. Le cylindre de pression est maintenu relevé par deux pistons hydrauliques.

Les plaques sont présentées par 7 rouleaux de 1^{m},60 de longueur sur 0^{m},70 de diamètre, situés presque à fleur du sol. Elles sont reçues par 13 rouleaux analogues commandés par un moteur à changement de marche. Le moteur du laminoir a deux cylindres horizontaux de 1^{m},20 de course sur 1^{m},40 de diamètre, avec pression de vapeur de 5^{kg}. Le moteur est réversible par double relevage à vapeur. L'arbre coudé de ce moteur a un diamètre de 460^{mm}. Le laminoir est desservi par un pont roulant de 60^{t} et de 15^{m} de portée.

Les trains à blindages nécessitent une grande énergie mécanique. Dans les nouvelles installations, on adopte, avec raison, des moteurs perfectionnés, assez puissants pour que leur vitesse

Digitized by Google

reste constante quel que soit le travail, qui peut, par exemple, varier du début du laminage à la fin entre 1.000 et 4.000 poncelets et même plus. Il importe que ces machines soient d'une robustesse à toute épreuve et ne laissent rien à désirer au point de vue constructif.

Plaques d'épaisseurs variables.

Les plaques laminées ne peuvent guère recevoir des différences d'épaisseur que dans le sens de la largeur, soit transversalement à la direction de l'étirage.

Il faut, dans ce cas, éviter toute tendance de la plaque à prendre une courbure dans son plan ou annulaire pendant toute la durée du laminage sur section non symétrique.

Par exemple, s'il faut laminer une plaque à section trapézoïdale PQRS *(fig. 3, pl. 49)*, on s'impose les trois conditions suivantes :

1° Les cylindres sont cylindriques ; d'où il résulte que les divers points de chaque face du blindage PQ ou RS sont sollicités à quitter les cylindres avec une égale vitesse.

2° Les hauteurs des côtés du lingot sont proportionnelles aux hauteurs PS et QR des côtés de la plaque à obtenir.

3° Pendant le laminage, les pressions successives appliquées sont inégales pour les deux côtés du lingot, et toujours proportionnelles aux hauteurs de ces côtés.

Des deux dernières conditions, il résulte que, à chaque passage au laminoir, tous les éléments verticaux, tels que *mn*, ont leur section réduite dans un même rapport et que, par suite, tous les éléments de blindage subissent un allongement.

De plus, la plaque à chaque passage sortira perpendiculairement aux axes des cylindres et sans prendre de courbure.

Pour réaliser ces conditons, la Compagnie anonyme des forges de Châtillon et Commentry a adopté la disposition *figures 1, 2* et *5* (1).

(1) Brevet du 27 janvier 1879.

Digitized by Google

1° Le mouvement de descente des vis de pression se fait avec des vitesses inégales par des pignons dont le rapport des diamètres est déterminé d'après les éléments de la section. Ces deux pignons sont mus par deux vis sans fin FF' portées sur un arbre E *(fig. 5)*.

2° Pour permettre au cylindre supérieur de prendre des inclinaisons variables pendant le cours du laminage, les coussinets sont rendus mobiles dans leurs empoises. A cet effet, la surface extérieure des coussinets est sphérique; et ils sont emboîtés de manière à permettre l'inclinaison maximum déterminée.

Pour les plaques telles que celle à section pentagonale MNPQR *(fig. 4)*, le laminage s'effectue d'après les mêmes principes en assimilant cette plaque à une autre trapézoïdale M'P'QR obtenue par le tracé d'une ligne droite M'P', substituée à la ligne brisée MNP; cette ligne M'P' est déterminée de manière que les tendances des parties 1, 2, 3, 4 de la plaque à se courber en sens contraire se neutralisent mutuellement. Le cylindre supérieur aura pour profil la ligne brisée MNP et pour axe une parallèle à la ligne M'P'.

L'allongement inégal des différentes parties de la pièce par l'action du laminage est encore prévenu par la disposition *figures 6* et *7*. Les cylindres ont une certaine conicité variable suivant les cas, leurs petits bouts et leurs gros bouts sont en regard les uns des autres. Ils sont inclinables.

Les tourillons ont, soit la forme conique, soit celle de solides de révolution à surfaces concaves ou convexes, comme l'indiquent les lignes fines et ponctuées du dessin, de façon à développer sur leurs coussinets des réactions verticales agissant dans le plan des cages et éviter les effets des poussées obliques qui tendent à renverser les cages (1).

MM. Marrel ont adopté pour le laminage des plaques renfor-

(1) Brevet du 27 mai 1876. Compagnie des hauts fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer.

Digitized by Google

cées au milieu ou en un point quelconque de la section, le laminoir à cylindre brisé *(fig. 8* et *9)* (1).

Le cylindre supérieur est en deux parties qui prennent appuis sur des empoises à rotules permettant de les incliner à volonté selon les nécessités du travail, tout en pouvant également se déplacer verticalement pour produire la pression et suivre les diverses épaisseurs.

Cette disposition a pour avantage de faciliter le laminage des plaques de formes variées *(fig. 11* à *15)* en donnant indistinctement, d'un côté ou de l'autre, des inclinaisons différentes aux lignes de la face supérieure.

Les plaques à renfort dans le milieu peuvent aussi être laminées dans un laminoir à deux cylindres horizontaux, en donnant à l'un d'eux la forme concave, comme l'indique la *figure 10*; la forme convexe de la plaque s'obtient donc aisément.

Cintrage des plaques.

Le cintrage des plaques se fait autant que possible immédiatement après le laminage, alors qu'elles sont encore suffisamment chaudes.

On munit le laminoir réversible de dispositifs auxiliaires.

Par exemple, pour le cintrage longitudinal, le laminoir *(fig. 16* à *18)* est pourvu de barres de supports B portant des galets qui s'appliquent contre la plaque pendant qu'elle se trouve saisie entre les cylindres. Ces barres et galets G sont relevés à volonté pour produire la flexion et par suite le cintrage lorsque la plaque se déplace alternativement. Le déplacement des barres est obtenu au moyen de vis prenant écrous dans des pièces articulées aux extrémités des barres. Chaque vis détermine le mouvement de monte et baisse par sa rotation produite au moyen d'une roue hélicoïdale solidaire de la vis.

(1) Brevet du 30 septembre 1879.

Digitized by Google

La roue hélicoïdale est actionnée par une vis sans fin dont l'arbre est pourvu d'une manivelle à main.

Des tiges de relèvement telles que A (*fig.* 20 et 21) maintiennent la plaque à ses extrémités. Ces tiges peuvent pivoter sur un axe mobile verticalement et aident à produire la courbure suivant un rayon déterminé variable à volonté pour une même plaque. Les *figures* 22 et 23 indiquent une variante dans laquelle les barres à galets sont suffisamment relevées pour porter la plaque au-dessus du cylindre inférieur, et c'est le cylindre supérieur qui fait pression et fléchit la pièce pour le cintrage ; le laminoir est ainsi transformé en presse à cintrer.

Pour le cintrage dans le sens transversal, on fait agir des galets latéraux dont la hauteur permet d'obtenir des formes à double courbure.

Ces galets sont actionnés par presses à vapeur ou à eau.

Pour cintrer transversalement après cintrage longitudinal, on peut placer entre le cylindre supérieur et la plaque une bande de fer ayant une épaisseur égale à la déflexion que cette plaque doit présenter transversalement. En abaissant le cylindre successivement et donnant le mouvement de va-et-vient à la plaque, celle-ci prend la forme voulue.

Le cintrage des plaques de blindage a donné lieu à la construction de puissantes machines à cintrer à quatre cylindres de $0^m,80$ à 1^m de diamètre, pouvant recevoir des largeurs de 6 à 7^m et exercer leur action sur des épaisseurs jusqu'à 60^{mm}.

Deux des cylindres sont placés dans un plan vertical et servent à pincer la plaque et à la conduire à travers la machine dans les deux sens.

Deux autres rouleaux sont placés de chaque côté du cylindre central inférieur et de manière à friser celui-ci lorsqu'il touche le cylindre supérieur. Ce dernier est fixe, tandis que le cylindre central inférieur est mobile dans le sens vertical.

Les fortes épaisseurs sont de préférence cintrées à la presse qui a effectué le forgeage ou à une presse spéciale de moyenne

Digitized by Google

force. Ici encore, la plaque est placée sur des tas, des rouleaux, et la pression s'exerce au milieu, comme sur une pièce fléchie que l'on déplace successivement pour étendre la courbure de proche en proche.

Gabariage des plaques.

Les plaques devant épouser la forme des parois courbes qu'elles sont destinées à recouvrir, il faut les cintrer, les courber dans un sens ou dans deux directions, donnant lieu à une surface à double courbure que l'on obtient par martelage, emboutissage, mandrinage sur faux patrons, par cintrage sur le laminoir lui-même ou à la presse de grande puissance (1).

Ces plaques sont vérifiées par des gabarits, d'où le nom de *gabariage*, improprement appliqué à l'opération même de modification de la forme prismatique en forme courbe.

Dans la courbure de ces plaques, il faut tenir compte des déformations que produit la trempe sur la face attaquée par le projectile. Les difficultés de réussite sont particulièrement grandes pour les plaques épaisses, fortement cintrées, présentant une courbure irrégulière, comme celles qu'on rencontre dans les parties extrêmes des flancs des navires. Il en est de même pour les coupoles et les plaques enveloppes des tourelles, dont la courbure est prononcée (2) *(figures 24 à 27)*. Ces coupoles sont ordinairement en métal fondu, acier coulé trempé au plomb ou à l'huile. Elles sont constituées en plusieurs parties assemblées avec des pièces en métal forgé. Dans certaines coupoles, la calotte est en métal laminé ou forgé au pilon ou à la presse, pour lui donner la forme finale, pour la gabarier. La partie annulaire A *(fig. 26)* reste en acier coulé trempé.

Ces cuirassements donnent lieu à l'application des mêmes

(1) On utilise des presses de 6.000, 7.000^{t}, munies de cylindres releveurs et d'indicateurs permettant de contrôler à 1 ou 2^{mm} près la position de l'outil par rapport à l'enclume ou à la pièce.

(2) Les dimensions de ces plaques sont ordinairement : 2,25 × 2,25 × 0,35 à 0,40. Les calottes de coupoles ont de 3 à 6^{m} de diamètre.

Digitized by Google

procédés de fabrication que ceux suivis pour les plaques de vaisseaux.

Le martelage ou le pressage sur formes, sur mandrins, permet de donner aux plaques les courbures voulues dans toutes directions. On peut aussi réduire à volonté les épaisseurs, achever les formes que le laminoir ne peut donner. C'est au moyen de matrices ou étampes que la forme en V est donnée aux plaques de la poupe, de l'éperon qui exige une longue façon de pièces ébauchées en vue des déformations finales.

On conçoit que si les procédés ne varient pas, les manœuvres sont difficiles pour déplacer les lourdes plaques et assurer des coups d'intensité convenable.

Il est préférable d'opérer à la presse dite à gabarier, qui donne plus de sûreté à l'opération et plus de facilités pour la mener, soit en employant des mandrins, des galets, soit des blocs d'appui que l'on règle suivant les courbures à produire.

La *planche 50* se rapporte à la presse à gabarier de 6.000^{t} installée au Creusot et dont l'examen du dessin permet de juger des dispositions mieux qu'une description forcément écourtée. Notons cependant que cette presse comprend deux pistons indépendants agissant par l'intermédiaire de rotules sur la traverse-plateau suspendue à deux grues hydrauliques de relevage. On peut ainsi obliquer plus ou moins la panne lorsqu'il faut forger sur faces obliques sans emploi d'outils spéciaux ou lorsqu'on veut diriger obliquement l'effort, pour donner une forme courbe.

La pression de l'eau est de 500^{kg} par centimètre carré.

Deux cylindres hydrauliques de 0^{m},370 roulent sur un pont supérieur et leurs plongeurs servent à manipuler les plaques au retournement.

Opérations auxiliaires.

Suivant la nature du métal, les plaques d'armures subissent des manipulations particulières, indépendamment du martelage, du laminage ou du pressage qui donnent la forme.

Digitized by Google

Ces opérations supplémentaires sont le recuit, la cémentation, la trempe.

Lorsque la forme définitive de forge est obtenue, la plaque est mise dans un four à recuire pour faire disparaître les efforts intérieurs qui ont pu se développer dans le métal. Le refroidissement se fait lentement, à moins que la plaque ne doive être trempée à la sortie du four.

La cémentation est appliquée aux plaques de fer ou d'acier doux sur le côté à durcir. Cette aciération se fait dans des fours spéciaux par le procédé général avec moyens appropriés aux fortes dimensions des pièces.

Lorsque la couche aciérée a atteint l'épaisseur déterminée, la plaque est refroidie lentement jusqu'à la température du rouge sombre, puis elle est trempée à l'eau, à l'huile, à la glycérine, au plomb.

Ce procédé appliqué aux plaques en acier-nickel donne au métal une dureté exceptionnelle tout en conservant une grande ductilité.

La trempe des blindages a pour but d'améliorer le métal, de resserrer ses molécules et surtout d'augmenter sa résistance au choc.

L'opération est très délicate, particulièrement pour les fortes épaisseurs. Souvent il se produit, par la trempe, des fissures internes qui rayonnent du milieu de la plaque jusqu'à une certaine distance des surfaces. Comme il est très difficile de les constater, il convient de soumettre ces plaques à un essai de choc, consistant à les laisser tomber d'une certaine hauteur sur un tas de fonte (1). Ces plaques sont aussi sondées au petit marteau par des ouvriers exercés qui reconnaissent par le son les défauts qui peuvent exister.

(1) La circulaire du 28 juin 1892 des services techniques de la marine indique que, pour les pièces dont l'épaisseur est supérieure à 120mm : en vue de rechercher les tapures qui ne sont pas apparentes, il faut laisser tomber les plaques complètement achevées de forge, avant perçage, d'une hauteur de 1m sur une plaque de fer d'épaisseur convenable.

Digitized by Google

La trempe de ces blindages est le plus souvent faite à l'huile, qui donne une dureté relative et prévient les défauts d'une trempe à l'eau dans un bain de grand volume.

Suivant la variété d'acier traité, le bain d'huile est à une température initiale plus ou moins élevée et le volume plus ou moins grand selon les dimensions (50 à 120^{m^3}).

Parfois les plaques sont recuites, puis retrempées de nouveau, les opérations répétées ayant pour effet d'assurer une meilleure qualité au métal.

Les blindages en fer se trempaient ordinairement à l'eau froide et au rouge.

La trempe avait pour effet de rendre le grain plus homogène, de faire disparaître le gros grain partiel que le métal reprenait par les réchauffages nombreux qu'il subissait et par le martelage parfois insuffisamment énergique.

La trempe du fer donnait aussi une plus grande résistance au choc des projectiles.

Les blindages en acier puddlé, puis en acier doux fondu et ceux en fer fondu, présentent également des parties qui cristallisent à gros grain et qu'on améliore par la trempe à l'eau portée à la température de 100°, afin d'éviter autant que possible les tapures, ou mieux avec de l'huile que l'on peut chauffer à une température plus élevée que la précédente.

La trempe se fait alors à deux degrés : la plaque est placée d'abord verticalement dans un bain d'huile à une haute température (200°) et passe ensuite dans un bain d'huile froide.

On obtient ainsi des trempes modérées qui améliorent la qualité du métal; mais pour déterminer une grande dureté, il faut tremper au vif à l'eau froide, parfois glacée, ce qui a lieu pour les plaques mixtes et pour les plaques cémentées.

Pour tremper les plaques compound, on a disposé l'appareil suivant *figures 1* et *2*, *planche 51* (1).

(1) Brevet Tresidder du 3 septembre 1891.

Digitized by Google

La plaque, à sa sortie du four, est placée le côté en acier en dessus, sur quatre supports montés dans une grande auge plate *(fig. 2)*, de manière que les bords de l'auge soient plus hauts que le fond de la plaque.

Un appareil à douche constitué par des tubes perforés *(fig. 1* et *2)* est placé au-dessus de la plaque sur laquelle l'eau coule en abondance. D'abord, le liquide refroidit le côté acier seulement, mais au bout de peu de temps, l'auge s'emplit et forme bain pour le côté fer de la plaque.

Ceci a pour but de réduire la déformation de la plaque d'au moins moitié et de faciliter l'effet refroidissant de la douche sans affecter le fer doux.

Si la trempe doit être très dure, on continue l'action de la douche jusqu'à refroidissement complet de la plaque; mais, dans certains cas, on arrête le jet lorsque le rouge a disparu, et on jette sur la plaque de la limaille ou des copeaux d'un alliage fusible à température voulue; puis, la douche fonctionne de nouveau dès que les copeaux entrent en fusion. De cette manière, on peut adoucir le métal au degré convenable et produire à volonté des trempes répétées très favorables à la ténacité du métal. L'eau est lancée avec une pression de $0^{kg},7$ suffisante pour l'empêcher d'être séparée de la plaque par une couche de vapeur.

Afin d'empêcher le refroidissement trop rapide des angles de la plaque, on y place des enveloppes protectrices en fer *(fig. 4)*; de même on recouvre les bords avec des pièces telles que celle *figure 5*, de manière à maintenir le métal à un degré de douceur permettant de les travailler à l'ajustage, s'il est nécessaire.

Si la plaque mixte présente une courbure considérable comme une plaque de tourelle ou coupole, on emploie deux appareils à douche *(fig. 3)*, pour refroidir le dessous et le dessus, le côté acier étant disposé au-dessus.

Un autre moyen consiste à employer la douche d'eau au-dessus, côté acier, et une douche d'air humide en dessous, côté fer.

Digitized by Google

Lorsque la plaque à tremper est en acier homogène doux, demandant plutôt de l'élasticité que de la dureté dans toute son épaisseur, on emploie la double douche ou la douche simple avec auge.

S'il s'agit d'acier au nickel, au cobalt ou au manganèse avec des teneurs variant de 4 à 12 et même 15 0/0 de ces matières, on ne saurait tremper à l'eau sans produire des tapures ou fêlures. Il faut tremper à l'huile ou simplement à l'air après chauffage au rouge cerise. Avec une chauffe moins élevée, le métal ne durcit pas, de sorte qu'en chauffant une plaque épaisse progressivement entre les deux faces opposées d'impact et d'application, les parties avoisinant cette dernière restent ductiles et celles avoisinant l'autre face peuvent être très dures, la dureté pouvant d'ailleurs être réglée jusqu'à la limite pour laquelle le métal tape en accélérant le refroidissement par aspersion d'eau tiède.

La trempe déterminant des déformations plus ou moins accusées, assez difficiles à prévoir, il est indispensable d'en tenir grand compte dans le façonnage avant de faire subir cette opération.

L'expérience montre, par exemple, que le retrait qui se produit à la trempe d'une plaque droite de 23^{mm} à 26^{mm} d'épaisseur est d'une convexité uniforme du côté trempé et que la flèche de courbure est d'environ 9^{mm} pour une longueur de $1^{m},25$.

Les plaques d'acier homogène, refroidies de la même façon sur les deux côtés, après avoir été chauffées uniformément, n'ont aucune tendance à se courber.

L'expérience démontre aussi qu'en courbant une plaque plate, de façon à présenter à la trempe son côté concave, elle redevient plate après l'opération. En conséquence, les plaques à traiter d'après le procédé à douche simple doivent être courbées moins que cela est nécessaire une fois la plaque terminée ce dont il faut tenir compte dans l'établissement des faux patrons. Les retouches sont dangereuses et difficiles, le redressement à froid

Digitized by Google

crée des tensions intérieures et, d'un autre côté, le recuit a toujours pour effet de réduire la résistance due à la cémentation dans le cas de plaques cémentées.

Les plaques minces se courbent plus que les plaques épaisses.

Une plaque de $0^{m},10$ d'épaisseur présente une convexité de 18^{mm} environ sur $1^{m},25$ lorsqu'elle n'est trempée que d'un seul côté. Les déformations des plaques pendant leur refroidissement ou leur durcissement sont indiquées par des appareils en contact avec la pièce et dont le déplacement relatif est marqué par des aiguilles indicatrices, avec ou sans enregistreur.

L'action de la douche d'eau sur les aciers fortement carburés produit une grande dureté.

Son effet est encore très grand sur les aciers doux.

Dans ce cas, l'effet du traitement est analogue à celui qu'on obtient en trempant un acier plus carburé dans l'huile à environ 870° centigrades, puis à le recuire à environ 480°.

L'air humide a une action plus douce sur les grandes masses, environ celle de la trempe à l'huile à 700° avec recuit à 650°.

Pour la trempe à l'eau, il convient que la pression dans l'appareil à douche soit au moins de 6^{kg} par centimètre carré avec un jet vigoureux, abondant.

Pour la trempe à l'air humide, une pression d'environ 1^{kg} est suffisante.

Procédé Harvey.

Le procédé Harvey (1) consiste à cémenter les plaques de blindage après leur achèvement, et à les tremper à la sortie du four de cémentation.

La plaque d'acier doux contenant de 0,10 à 0,35 0/0 de carbone, étant de forme et de dimensions voulues, se place, de préférence à plat *(fig. 6* et *7)*, sur un lit ou couche d'argile ou sable finement pulvérisé et déposé sur le fond d'un comparti-

(1) Brevet du 29 septembre 1891.

Digitized by Google

ment en briques réfractaires monté dans un four. La plaque prend appui sur des supports.

Le compartiment est ensuite partiellement rempli de matière carboneuse granulaire qui, ayant été pilonnée sur la plaque en couche de 0^{m},20, côté supérieur, est recouverte d'une couche de sable sur laquelle on place un doublage de briques réfractaires pesantes (1).

On ferme le four et on le chauffe progressivement jusqu'à 1100° centigrades. Cette température est maintenue pendant six à huit jours, suivant l'épaisseur de la couche d'acier qui est destinée à se charger d'un excédent de carbone.

Une plaque de 0^{m},27 d'épaisseur, par exemple, peut se charger de 1/10 0/0 de carbone à une épaisseur de 0^{m},075 au-dessous de la surface, à 1 0/0 à la surface, par la continuation du traitement, pendant une période de cent vingt heures, après que le four a été élevé à la température nécessaire, soit après quarante-huit heures de première chauffe. Après la carburation, la plaque est retirée du four, et, sans qu'on enlève la matière carburante, on la laisse refroidir à la température voulue pour la trempe. Ordinairement quatre à cinq heures sont nécessaires pour une plaque de 0^{m},27 refroidie à la couleur du rouge sombre.

La plaque, débarrassée complètement, est ensuite trempée en l'inondant de courants d'un liquide très froid, ou en l'immergeant et en la tenant en mouvement, jusqu'à ce qu'elle soit froide. Il est nécessaire que l'inondation se continue pendant quatre heures environ, afin d'effectuer et conserver la trempe de la surface jusqu'à ce que le métal soit complètement refroidi à cœur.

On préconise aussi de cémenter la plaque ayant par exemple une épaisseur de 0^{m},40 que l'on réduit ensuite par un nouveau forgeage à l'épaisseur définitive, 0^{m},35, pour ensuite être trempée.

(1) Parfois on place sur la couche de charbon une deuxième plaque, la face à cémenter en dessous; on lute avec de la terre réfractaire les bords des plaques de façon à bien isoler le charbon du milieu environnant.

Digitized by Google

Les plaques d'acier au nickel sont surcarburées soit avec du charbon de bois, du coke ou des hydrocarbures tels que le gaz d'éclairage, les vapeurs de pétrole ou de l'acétylène.

La cémentation déterminant une certaine cristallisation du métal, les plaques sont soumises à une compression énergique en agissant successivement sur les diverses parties de la pièce, de manière à rétablir la structure primitive en vue d'assurer plus d'homogénéité et par suite augmenter la ténacité et la ductilité. La trempe venant ensuite donne la dureté et l'élasticité.

La trempe s'effectue aussi dans un bain de liquide courant, en la plaçant sur un chariot *(fig. 8, 9* et *10)*, roulant sur une voie L en l'actionnant au moyen d'un treuil.

Ou mieux, le chariot amène la plaque au-dessous d'un réservoir *(fig. 11)*, dont le fond perforé laisse passer l'eau amenée par des tuyaux.

En premier lieu, la plaque était placée sur l'un des deux cans de plus grande longueur; l'eau était projetée en abondance; mais l'arrosage sur face verticale a l'inconvénient de donner lieu à un refroidissement plus ou moins uniforme. Il est préférable de disposer la plaque horizontalement au-dessus d'un appareil à douche ainsi qu'il a été indiqué précédemment (1). Pour une plaque de 360^{mm} d'épaisseur, 4^{m} de longueur, 3^{m} de largeur, l'arrosage dure trois heures et le débit d'eau est de 500^{m3}.

Aux aciéries de Homestead, la carburation est poussée jusqu'à une épaisseur de 20 à 30^{mm}, ce qui exige un long séjour dans le four. Les plaques sont trempées à leur sortie au moyen d'eau salée qui passe dans un réservoir rempli de glace; on obtient ainsi une grande dureté que l'on vérifie avec un poinçon d'acier actionné par marteau de 6^{kg}; on ne doit pas pouvoir marquer la plaque. La plaque est trempée des deux côtés,

(1) Cette disposition a été adoptée récemment à Bethléem pour la trempe des plaques Harvey.

Digitized by Google

mais la différence de teneur en carbone amène une différence de trempe très grande entre les deux surfaces.

La projection de l'eau glacée en pluie fine se prolonge pendant environ une heure; après quoi, on plonge la plaque dans un bain où on l'y laisse jusqu'à complet refroidissement. Lorsqu'on veut détremper la face opposée à la partie cémentée on recuit la plaque dans un four dont la plaque elle-même constitue le fond, de sorte que l'une des faces seule est chauffée, tandis que la face cémentée opposée est maintenue froide par des jets d'eau.

Le recuit dans un bain électrolytique serait plus rapide et plus commode, mais il faudrait un courant de puissance excessivement grand.

Après trempage, les plaques cémentées ne sauraient être percées avec le foret ou entamées par l'outil de raboteuse pour y pratiquer les façons nécessaires aux assemblages.

On pare à cette difficulté soit en perçant les trous avant la cémentation, soit en évitant la carburation aux endroits déterminés. Les trous sont percés sur une hauteur de 20 à 40^{mm}; on les remplit d'argile et la plaque est soumise à la cémentation.

Un autre moyen consiste à détremper les parties à ajuster au moyen d'une flamme de chalumeau ou mieux par chauffage électrique localisé; on peut opérer à volonté où il est utile sans avoir à prévoir l'emplacement des trous.

Au point voulu, on fait passer un courant assez intense pour porter la température à plus de 900°, ce qui suffit pour détremper. On a soin d'abaisser graduellement la température en réglant l'intensité du courant, sinon un refroidisement rapide, déterminé par la masse métallique elle-même, produirait une nouvelle trempe.

Les touches de l'appareil qui amène le courant sont en cuivre, à circulation d'eau; la surface de contact est sphérique. L'acier est rapidement porté au rouge cerise sous les contacts

Digitized by Google

et au rouge sombre dans les parties très voisines. Il est nécessaire de prolonger l'action en déplaçant les contacts, sinon la partie voisine reste dure. Une opération peut durer une dizaine de minutes seulement.

Le courant est donné par une dynamo génératrice avec alternateur à faible fréquence, 50 par seconde, donnant 300 volts et 100 ampères. Un transformateur, dont le pouvoir est dans le rapport de 100 à 1, détermine un courant secondaire d'environ 2 volts de tension et 15.000 ampères d'intensité. Il est suspendu de manière à pouvoir l'amener facilement au point voulu. Son poids est d'environ 450^{kg}, afin d'assurer le contact quand on opère sur un plan horizontal.

Dans les positions obliques, on détermine une pression par des moyens auxiliaires.

La surface de contact est ordinairement de $0^{cm^2},25$; elle est traversée par un courant de 10.000 ampères, soit une densité de courant d'environ 4.000 ampères par centimètre carré.

Le courant est réglé par des rhéostats et la réduction se fait automatiquement. On détrempe aussi par le courant électrique les zones des plaques qui doivent être évidées. Pour cela, les contacts sont déplacés lentement, soit à la vitesse de 5 à 6^{m} par minute le long de la zone à détremper dont la largeur est ordinairement de 50 à 60^{mm}. Le procédé est aussi appliqué pour chauffer au rouge cerise des parties isolées des plaques et les tremper en les laissant refroidir rapidement.

Quant à la rectification des parties trempées qui n'exigent qu'un faible enlèvement de matière, elle se fait à la meule d'émeri actionnée par une dynamo de 20 kilowatts.

Cémentation du lingot à la coulée.

Afin d'activer la cémentation, rendre l'opération très rapide, M. Demenge a tout récemment appliqué aux usines de Pamiers une méthode qui consiste à carburer inégalement le lingot au moment de la coulée, même pendant la solidification, en se

Digitized by Google

basant sur la propriété du carbone de s'incorporer au métal très rapidement lorsqu'il est liquide (1).

L'une des parois verticales de la lingotière *(fig. 13)* est constituée par une pièce de fonte épaisse A agissant par sa conductibilité pour refroidir la face latérale *ab* du lingot. Une circulation d'eau peut être établie à volonté pour accélérer la chute de température.

La paroi B, enveloppant à distance les autres faces du lingot, est peu épaisse, et sa forme contournée est motivée pour tenir compte des différences de refroidissement au centre et vers les arêtes du lingot; elle permet d'obtenir des chutes de température progressives par tranches parallèles. Entre le lingot et la paroi B, on dispose un pisé de matières carburantes C, et une couche D de matières mauvaises conductrices de la chaleur. Les deux garnissages de côté E sont en matière réfractaire.

La préparation spéciale du pisé de matières carburantes qui sont complètement débarrassées de leurs gaz et sa grande dureté sont telles, qu'il est possible de couler l'acier sans avoir à craindre la moindre effervescence.

Le lingot est coulé debout avec masselotte nécessaire pour prévenir toute trace de retassement dans la partie utilisable.

Le métal à haute température 1400° absorbe rapidement le carbone du pisé. D'un côté, la répartition se fait suivant une loi décroissante *(fig. 14)* qui correspond à un lingot de 3.000^{kg} de 0^{m},400 d'épaisseur réduit par forgeage et laminage à 0^{m},100.

La courbe ABCD a pour abscisses les épaisseurs et pour ordonnées les teneurs en carbone.

Le point C, origine de la chute du carbone du côté de la surface douce, peut être rapproché du centre de la plaque en accélérant le refroidissement.

L'économie de ce système comparé au procédé Harvey est importante. Au lieu d'exiger un long séjour dans un four, ce

---

(1) Brevet du 20 janvier 1894.

qui est préjudiciable à la bonne qualité du métal, la cémentation se fait rapidement à la coulée et peut être réglée à volonté suivant le temps laissé au carbone pour se diffuser dans la masse.

De plus, avec la méthode ordinaire les grosses plaques exigent une très longue durée dans le four si on cherche à proportionner l'épaisseur d'acier de cémentation à l'épaisseur de la plaque, et c'est pourquoi les résultats obtenus avec les plaques de forte épaisseur ne sont pas aussi satisfaisants que ceux avec les plaques de moyenne épaisseur. Au contraire, avec le procédé Demenge, on conçoit que la cémentation sera toujours plus prononcée sur un lingot de grosse masse que sur un de masse moindre.

La plupart des céments utilisables ont été essayés. En faisant varier le mélange des matières carburantes, on peut obtenir des variations dans l'intensité de la cémentation. Par exemple, la cémentation obtenue avec le coke est à peu près moitié de celle obtenue avec le charbon de bois.

Des matières inertes, telles que la chaux ou l'argile, ont pour effet de retarder le commencement de la cémentation.

La surface cémentée du lingot est un peu rugueuse, mais le forgeage fait aisément disparaître toute irrégularité. Il convient de ne pas réchauffer à une trop haute température et la presse doit être préférée au pilon ; le laminoir termine s'il y a lieu.

Le lingot démoulé présente sur la face surcarburée une couche de charbon adhérente à une couche de fonte d'abord très graphiteuse, puis de plus en plus blanche, qui elle-même adhère à la couche d'acier dur. Cette face est burinée, puis le lingot est réchauffé pour passer au pilon ou à la presse en agissant sur les côtés latéraux du lingot afin de faire tomber la croûte parasite. On le réchauffe ensuite pour l'étirage en plaque. A la trempe, on place deux plaques l'une sur l'autre en accolant les deux faces non carburées directement ou par l'intermédiaire de sable.

Digitized by Google

Trempe au plomb.

La trempe des pièces de cuirassement dans un bain métallique a été appliquée par la Compagnie anonyme des forges de Châtillon et de Commentry (1).

Le bain métallique assure une plus grande régularité de trempe; de plus, la température du bain peut être amenée à un degré assez élevé pour écarter tout danger de ruptures ou de tensions nuisibles.

Pendant la trempe des grosses pièces, les surfaces et les angles se refroidissant plus rapidement, s'opposent au retrait des parties centrales, donnent lieu à des tensions dangereuses. Avec le bain métallique on peut plus facilement obtenir une température uniforme de refroidissement.

On emploie ordinairement le plomb pour former le bain. Ce métal ayant une densité supérieure à celle du fer et de l'acier, on obtient l'immersion par une surcharge ou par l'appareil *figures 15*, *16* et *17*, comprenant un châssis A monté sur quatre galets B roulant sur les mêmes rails que la voûte mobile qui recouvre le bain. Dans l'intérieur de ce châssis est une masse C, mobile verticalement et de poids suffisant pour produire l'immersion de la pièce P à tremper par l'intermédiaire de neuf colonnettes D reliées à leurs parties inférieures par un tablier E.

Quatre crémaillères H, fixées à chacun des angles de la masse, s'appuient sur quatre pignons I, reliés deux à deux par deux arbres J portés par le châssis. Aux extrémités, d'un côté de ces arbres sont calés deux engrenages K, engrenant avec deux vis sans fin à pas allongé, calées sur un arbre L sur lequel est montée une poulie de frein M; de cette manière, le mouvement parallèle de la masse C est assuré dans le sens vertical.

Après que la pièce à tremper est déposée dans le bain, l'ap-

(1) Brevet du 30 juin 1886. L'idée de tremper les blindages dans un bain de plomb revient entièrement à M. Arsac (Aix 1856), qui en étudia toutes les dispositions et en fit les premiers essais. Ce procédé a été abandonné à partir de 1891.

Digitized by Google

pareil est conduit au-dessus d'elle au moyen d'un treuil. On desserre le frein, la masse descend, on modère la vitesse avec le frein et on la maintient à hauteur dès que la pièce est complètement immergée. La trempe terminée, on accroche l'anneau N à la chaîne d'un pont-treuil et on élève la masse jusqu'à ce que le dessous du tablier dépasse le bord du four. Le frein la maintient de nouveau. Suivant la nature du métal, le blindage est porté à la température du rouge cerise ou jaune orange. Le volume du plomb et la température varient aussi suivant l'énergie de la trempe. Dans certains cas, un poids de plomb égal à trois ou quatre fois celui de la pièce et une température initiale du plomb égale à 400° peuvent convenir.

Afin d'obtenir une température de trempe sensiblement constante, empêcher le bain métallique de prendre une température trop élevée, on fait fondre, en contact avec la pièce à tremper et sur les points voulus, la majeure partie du métal de trempe. Les *figures 18* à *20* montrent la façon d'opérer : dans la bâche A le bain initial ou volume de métal est aussi restreint que possible. Au fond de la bâche, au moment de l'immersion, est placée une plaque P′ du métal ou de l'alliage servant à la trempe. Le blindage C plonge partiellement dans ce bain et des vis B ou des pistons hydrauliques exerçant leur action sur les quatre angles du blindage, le mettent en contact avec la plaque réfrigérante P′.

En même temps une plaque P^2 est placée sur la partie supérieure du blindage. A mesure que les plaques supérieures sont fondues, on les renouvelle dans la proportion convenable pour maintenir la température voulue ou l'abaisser de manière que les effets relatifs de la trempe puissent encore se produire lorsque la plaque est sensiblement refroidie. On obtient ainsi une trempe plus méthodique ou plus uniforme très favorable (1).

(1) Ce procédé a été préconisé par la Compagnie des hauts fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer et a fait l'objet d'un brevet du 2 juillet 1887.

Digitized by Google

La température initiale élevée du bain limitant le refroidissement donne une trempe douce. Elle permet de tremper des aciers à teneur en carbone relativement élevée, par exemple ceux à 1 0/0 de carbone et qui contiennent 1 1/2 0/0 de chrome. Elle améliore la ductilité et assure ainsi une plus grande résistance vive.

La trempe au plomb a aussi été appliquée en Angleterre pour plaques et projectiles.

Dans la pratique, ce procédé s'est heurté à des difficultés d'ordre technique et était trop onéreux ; il ne s'est pas maintenu.

La température de fusion du plomb étant d'environ 300°, on ne peut obtenir les trempes fortes que l'on donne aux plaques cémentées avec de l'eau glacée et dont on peut modérer l'action en aspergeant avec moins d'abondance.

Il ne faut pas non plus perdre de vue que, pour les aciers, la température de 300° correspond à un point critique de ductilité qu'il convient de franchir aussi rapidement que possible afin de limiter les chances de fêlures, de tapures. Or, avec le bain de plomb, cette période critique est prolongée et doit favoriser, avec des aciers durs et demi-durs, la production de ces défauts si toutes les parties ne sont pas refroidies bien uniformément.

C'est précisément pour éviter la formation d'un milieu à température relativement élevée, maintenant le métal à 300°, que l'on recommande d'agiter fortement le bain de trempe ou de déplacer la pièce afin que le refroidissement se fasse d'une façon plus rapide, plus uniforme.

Trempe à la glycérine et à l'ammoniaque (procédé Frodosieff).

La trempe à la glycérine et à l'ammoniaque donne à l'acier une dureté exceptionnelle en transformant l'acier doux en acier dur, de telle sorte qu'en l'appliquant seulement sur l'un des côtés d'une plaque elle détermine une espèce de cémentation très rapide.

Digitized by Google

On fait varier la densité du bain de 1,08 à 1,26 à 15° C. par une addition d'eau, selon la composition du métal et le but à atteindre. Il faut un poids de glycérine égal à six fois au moins celui des pièces à y plonger et la température du bain peut être portée de 15° à 200°, suivant la nature de l'opération, le degré de dureté à produire.

L'addition de divers sels augmente l'action de la trempe. Pour des trempes superficielles dures, on peut mettre 1 à 34 0/0 de sulfate de manganèse, et 1/4 à 4 0/0 de sulfate de potasse. Pour les trempes douces, on ajoute au bain 1 à 10 0/0 de chlorure de manganèse ou 1 à 4 0/0 de chlorure de potassium.

L'ammoniaque a également un effet favorable.

Des plaques d'acier peuvent ainsi conserver, d'un côté, les propriétés de l'acier doux et acquérir, de l'autre, une dureté extrême.

Cette trempe, qui est une sorte de cémentation, d'aciération prononcée, mais peu pénétrante, est aussi appliquée aux plaques cémentées pour augmenter l'effet de la trempe forte qu'on leur donne.

Ces divers procédés de trempe, appliqués à de grandes masses métalliques, sont analogues à ceux adoptés depuis longtemps pour assurer aux outils en acier, subissant de grands efforts, une dureté et une ténacité exceptionnelles à la surface, en les trempant dans des bains de composition déterminée.

Plaques à rainures.

En vue de permettre une trempe superficielle très dure, il a été proposé de pratiquer, sur le côté extérieur des plaques, des rainures (*fig. 21* et *22*) (1) de façon à diviser la surface en éléments tels que chacun d'eux puisse supporter la trempe sans taper ou se fendre. Ces éléments ont des dimensions carrées ou rectangulaires de $0^m,600$ à 1^m de côté, suivant la nature de l'acier.

(1) Brevet du 15 septembre 1890, M. Brustlein.

Digitized by Google

La face extérieure doit être, de préférence, en acier de qualité spéciale, tel que l'acier chromé ou au nickel.

Le traitement comporte : un recuit dans un four, la plaque achevée de forge; le dressage ou finissage des faces à l'outil coupant; la formation des rainures à la raboteuse.

La trempe énergique n'est appliquée qu'aux parties non creusées, le fond des rainures étant protégé contre une trempe trop forte par un garnissage en amiante ou en terre réfractaire.

Après la trempe, les rainures sont garnies de pièces en acier dur et tenace, à surface trempée, fixées par des vis *(fig. 23* et *24)*.

Par l'effet de la trempe, les éléments de la plaque se bombent plus ou moins suivant le degré de trempe et de revient que subit le métal.

Un autre modèle de blindage récemment préconisé aux États-Unis par M. Green comprend, pour chaque plaque, une série plus ou moins nombreuse de petites pièces d'acier à outil d'environ $0^m,500$ de longueur, $0^m,100$ de largeur et $0^m,180$ d'épaisseur; ces pièces sont assemblées entre elles et séparées par des plaques de cuivre de $0^m,003$ d'épaisseur destinées à amortir les vibrations. L'avantage de ces plaques est leur facilité de fabrication et d'adaptation à toutes formes, leur réparation aisée et les qualités de trempe mieux assurées. Mais le prix de revient est élevé.

L'appareil pour la trempe *(fig. 25)* comprend un réservoir R. Sur un arbre A sont disposées de fortes équerres *(fig. 26)* dont les faces étroites sont garnies de matelas d'amiante.

La plaque chauffée P est présentée verticalement (position dans laquelle elle risque moins de se déformer), de manière que les équerres s'introduisent dans les rainures. Un mouvement de bascule des équerres amène la plaque dans la position horizontale au-dessus des pommes d'arrosoir ou de tôles perforées qui agissent en projetant l'eau sur toutes les parties à tremper.

Digitized by Google

S'il s'agit d'une plaque tout acier dur, la trempe n'a lieu que sur les éléments extérieurs, la face non trempée étant protégée contre un refroidissement rapide, et la surface trempée peut avantageusement recevoir une double ou une triple trempe sur recuit immédiat en interrompant la projection de l'eau, puis en arrosant de nouveau à plusieurs reprises.

S'il s'agit de plaques mixtes ou d'acier doux, métal qui ne peut que gagner en qualité par une trempe forte, on tient les parois du réservoir assez hautes pour que toute la plaque soit immergée et on arrose la face supérieure à l'eau froide également. La trempe répétée sur recuit immédiat donnera également de meilleurs résultats que la trempe simple.

L'importance si considérable qu'ont prise les divers éléments des engins de défense et d'attaque de la guerre moderne; les recherches incessantes et les perfectionnements que leur construction a motivés, montrent que l'art militaire, actuellement et comme aux siècles passés, est toujours un mobile de progrès pour l'industrie métallurgique.

Dans l'histoire du monde, on ne saurait citer une autre époque où l'on ait consacré autant d'énergie, autant d'esprit de recherche et autant d'argent aux fins de guerre. Les plus puissants peuples dépensent en majeure partie leurs ressources générales et leurs forces industrielles à l'entretien de fortes armées permanentes et de marines formidables.

Combien seraient mieux utilisés tous les sacrifices des nations, s'ils s'appliquaient à l'amélioration du matériel économique, à la création des grands projets utilitaires conçus par le génie humain!

C. CODRON

FIN

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

DU DEUXIÈME VOLUME DE LA DEUXIÈME PARTIE

DEUXIÈME PARTIE

Pages.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

PLANCHES

Digitized by Google

Digitized by Google

IMPRIMERIE CENTRALE DES CHEMINS DE FER.
IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 11524-5-98. — (Encre Lorilleux).

Digitized by Google

Digitized by Google




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06671 6963


Digitized by Google